

METASEQUOIA GLYPTOSTROBOÏDES

RENSEIGNEMENTS SPÉCIFIQUES ET BOUTURAGE

O. MONTEUUIS, P. GOUBIER, C. PAGES, C. PEZET, P. SARRAN

Class. Oxford 174.7 : 165.4

SOMMAIRE

<i>Résumé - Summary - Zusammenfassung</i>	212
1. introduction	214
2. renseignements spécifiques	214
21 — origine géographique	214
22 — identité taxonomique	217
23 — éléments de morphologie	217
24 — données écologiques	219
25 — intérêt potentiel pour la foresterie	220
26 — multiplication	221
3. bouturage	222
31 — revue bibliographique	222
32 — données expérimentales	223
321 - matériel végétal	223
322 - conditions de bouturage	226
323 - mesures et expression des résultats	228
33 — premières observations	228
331 - substrat de bouturage	228
332 - entaille basale	229
333 - substances rhizogènes exogènes	229
334 - devenir des boutures enracinées	230
335 - commentaires	231
34 — résultats du bouturage herbacé	232
341 - influence du choix des boutures à partir de critères morphologiques	232
342 - comparaison entre le bouturage en cascade et à partir de pieds-mères	236
343 - différences interclonales	236
344 - commentaires	236
35 — résultats de bouturage ligneux	240
351 - influence du niveau de branchaison	241
352 - influence du niveau de prélèvement intrarameal	241
353 - influence de la morphologie des boutures	241
354 - différences interclonales	241
355 - commentaires	246
36 — synthèse et discussion	247
4. conclusion générale	250
Bibliographie	250

Les auteurs remercient très cordialement le Dr. Claude Edelin pour ses informations très instructives en matière d'architecture et de morphologie des ligneux appliquées à Metasequoia glyptostroboides.

RÉSUMÉ

Metasequoia glyptostroboides est présenté à travers ses particularités spécifiques, qui pourraient être exploitées en sylviculture intensive. L'expansion de l'essence est actuellement conditionnée par le bouturage dont certaines modalités ont été étudiées. Ainsi, le choix des boutures, en fonction de critères morphologiques et architecturaux, est très influent. Les rameaux caducs sont à proscrire, périlissant après repiquage en dépit de leur enracinement. D'autre part, l'aptitude à la rhizogenèse est corrélée avec la position des ramets au sein de l'ortet, en fonction de gradients de niveaux de branchaison et de prélèvement intraraméal. L'intérêt du bouturage herbacé ou ligneux est discuté. La technique du bouturage, à partir de pieds-mères, est comparée au bouturage en cascade d'un point de vue plus synthétique.

SUMMARY

Title of the article: *Metasequoia glyptostroboides*: specific informations and propagation by cuttings.

Metasequoia glyptostroboides is presented through its specific particularities, which could be used in intensive silviculture. The expansion of this species is actually depending on the efficiency of propagation by cuttings; certain aspects of it were investigated. Thus, the selection of cuttings according to morphological and architectural criteria appears to be determining. Deciduous shoots must be avoided since they die soon after potting in spite of their newly formed root system. On the other hand, rooting ability can be correlated with the situation of the ramets within the ortet, according to gradients of branching level and intrarameal position. Vegetative propagation using herbaceous cuttings by comparison with woody cuttings is discussed. The opportunity to use stock plants as cutting source is compared to the serial vegetative propagation from a more synthetic point of view.

ZUSAMMENFASSUNG

Titel des Artikels : *Metasequoia glyptostroboides* : Spezifische Angaben und Vermehrung durch Stecklinge.

Es werden die spezifischen Besonderheiten von *Metasequoia glyptostroboides*, die in dem intensiven Waldbau genutzt werden könnten, vorgestellt.

Die Verbreitung dieser Baumart hängt zur Zeit von der Vermehrung durch Stecklinge ab. Verschiedene Vermehrungsmethoden wurden untersucht. So ist die Auswahl der Stecklinge hinsichtlich der morphologischen und architektonischen Merkmale von Bedeutung. Die im Herbst abfallenden Kurztriebe sind nicht zu benutzen, da sie trotz Wurzelbildung nach dem Eintopfen absterben. Ausserdem steht die Bewurzelungsfähigkeit mit der Stecklingslage innerhalb der Ausgangspflanze in engem Zusammenhang, je nach den Gradienten der Verzweigungshöhe und der Entnahmestelle innerhalb des Zweiges. Die Grünstecklingsvermehrung wird mit der Steckholzvermehrung verglichen und deren Interesse erörtert. Die Verwendung von Mutterpflanzen als Stecklingsquelle wird mit der Serienvermehrung aus einem synthetischen Gesichtspunkt verglichen.



n° 1

Boutures de métaséquoia en troisième année de plantation
(test clonal de St-Étienne Vallée Française, Cévennes)



n° 1bis



Plantation monoclonale de métaséquoia, âgée de 15 ans.

1. introduction

Le métaséquoia, *Metasequoia glyptostroboides* Hu & Cheng, est un conifère jusqu'à présent peu connu et discrètement implanté en France, principalement sous forme de sujets isolés à vocation ornementale. Dans ce contexte, et avant d'étudier son aptitude au bouturage, il paraît utile de présenter cette espèce singulière, afin de mieux appréhender, à travers ses particularités, l'intérêt qu'elle suscite.

●

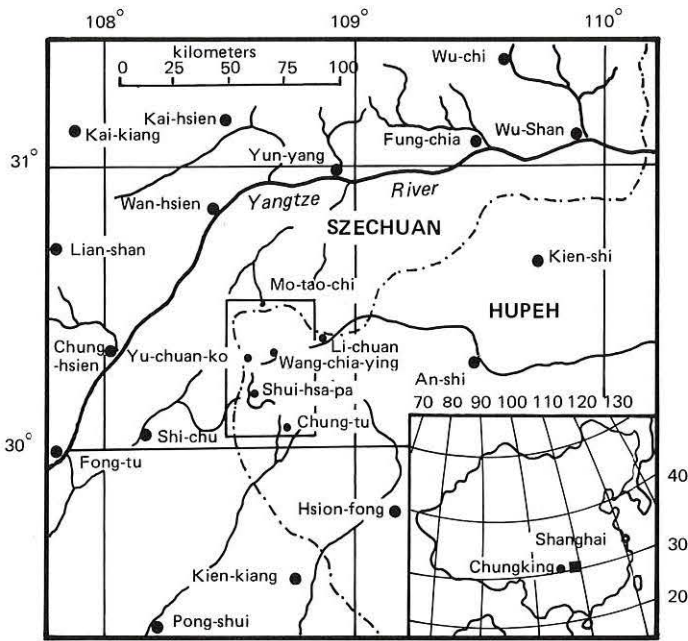
2. renseignements spécifiques

21 - ORIGINE GÉOGRAPHIQUE

Le métaséquoia était considéré comme une espèce fossile très répandue au crétacé et au début de l'ère tertiaire (Boullard 1982, Merrill 1948), jusqu'à la découverte en 1941 de quelques spécimens dans un reliquat d'aire d'origine, aux fins fonds de la Chine intérieure (voir figure n° 1). Cette région montagneuse de Shui-hsa-pa (Chaney 1969, Chu et Cooper 1950), située dans la province de Hupeh semble avoir résisté aux bouleversements paléoclimatiques et constitue, de ce fait, un conservatoire botanique naturel très précieux par sa richesse pour les paléobotanistes et phytosociologues. Des relevés dénombrent environ un millier de métaséquoias disséminés entre 900 et 1400 m d'altitude sur une superficie de 800 km² (Andrews 1948, Merrill 1948), et intimement associés à d'autres espèces paléoendémiques parmi lesquelles on peut citer notamment *Ginkgo biloba* et *Cunninghamia lanceolata* (Bartholomew et al. 1983, Chu et Cooper 1950, Hu 1980, Pokorny 1972). Ce remarquable échantillonnage floristique, regroupant une très grande diversité de Pteridophytes, Gymnospermes et Angiospermes (voir à ce propos les inventaires de Hu, 1980) prospère sous un climat caractérisé par une forte pluviométrie estivale, par comparaison à la période hivernale plus sèche, comme l'illustre la figure n° 2 et les tableaux n° 1. Ces conditions météorologiques satisfont à la culture du riz pratiquée par les autochtones (Hu 1980). D'un point de vue édaphique, le métaséquoia pousse naturellement sur des sols de pH 6,5 à 7, à dominante sableuse, dérivés de grès jurassiques qui peuvent être assimilés d'après Chu et Cooper (1950) à des sols podzoliques bruns.

FIGURE N° 1

*Localisation de l'aire naturelle actuelle de
Metasequoia glyptostroboïdes en Chine (d'après Chu et Cooper, 1950)*
Location of the native home of Metasequoia glyptostroboïdes in China



n° 1a : Situation de la province de Hupeh dans la Chine.
Location of Hupeh province in China.



n° 1b : Région de Shui-hsa-pa détaillée.
Details of Shui-hsa-pa area

TABLEAUX N° 1

*Pluviométrie (mm) et températures (°C) moyennes enregistrées à Lichuan (30°20'N, 108°50'E)
Chine, 1959-1978 (d'après Bartholomew et al., 1983)*

*Précipitation (mm) and Temperature (°C) records for Lichuan (30°20'N, 108°50'E),
China, 1959-78*

moyenne annuelle	1282,9											
mois	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
moyenne mensuelle	18,7	30,0	67,9	109,5	187,5	183,8	171,9	144,1	170,8	109,2	61,2	28,3
en % de la moyenne annuelle	1,5	2,4	5,3	8,5	14,6	14,3	13,4	11,2	13,3	8,5	4,8	2,2
moyenne mensuelle minimale	1,1	6,0	26,6	60,2	74,9	55,7	15,9	24,6	47,0	19,3	26,6	8,7
moyenne mensuelle maximale	40,7	71,1	117,3	179,7	321,1	383,2	293,9	307,6	378,9	204,0	121,9	55,6

pluviométrie moyenne (mm)

mois	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
moyenne mensuelle	1,7	3,0	7,8	12,9	16,9	20,3	23,3	22,8	18,6	13,6	8,1	3,6
moyenne mensuelle maximale	12,5	15,6	21,5	26,5	27,8	30,7	32,2	32,3	29,3	24,5	18,6	14,5
moyenne mensuelle minimale	-6,1	-5,8	-1,6	2,7	8,7	11,9	15,8	14,7	9,3	3,9	-1,2	-3,7
maximum absolu .	16,9	20,0	27,1	30,2	30,6	32,9	34,8	35,4	32,0	27,5	22,1	17,7
minimum absolu .	-13,8	-15,4	-3,5	-1,5	5,9	8,6	13,7	12,2	7,1	-0,6	-3,5	-8,2

températures (°C)

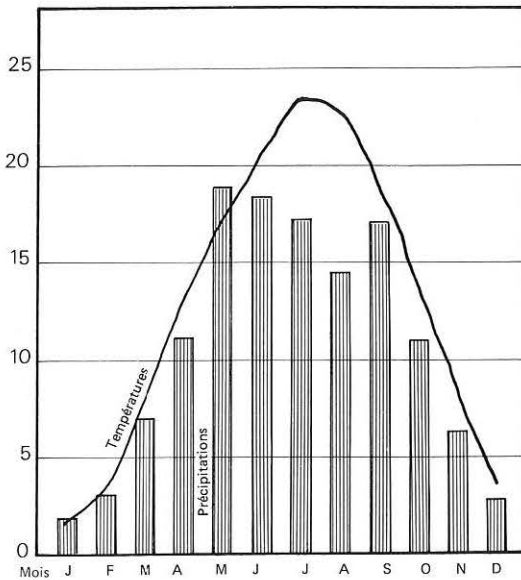


FIGURE N° 2 : *Moyennes mensuelles des températures (°C) et de la pluviométrie (cm), station de Lichuan, Chine, 1959-1978.*

Mean monthly temperatures (°C) and precipitations (cm) for Lichuan, China, 1959-78.

(d'après Bartholomew et al. 1983).

22 - IDENTITÉ TAXONOMIQUE

A l'origine assimilé à *Glyptostrobus* (Boullard, 1982), le genre monospécifique *Metasequoia* a été reconnu et individualisé en tant que tel en 1945 pour être affilié à la famille des Taxodiacées, classe des Gymnospermes (Andrews 1948). Comme la plupart des espèces appartenant à cette même famille, *Metasequoia glyptostroboïdes* possède 22 chromosomes ($n = 11$) (Schlarbaum et Tsuchiya, 1984). Des études caryocytologiques (Schlarbaum et Tsuchiya 1984, Schlarbaum et al. 1984) ont permis de réfuter l'hypothèse, alléchante en raison d'analogies morphologiques, selon laquelle *Metasequoia glyptostroboïdes* serait l'ancêtre de *Sequoia sempervirens*, espèce hexaploïde ($2n = 6x = 66$). Ces mêmes techniques d'investigations phylogéniques tendent à établir une certaine parenté entre *Metasequoia glyptostroboïdes* et *Taxodium distichum* - communément : cyprès chauve - qui pourraient dériver d'une même espèce fossile : *Parataxodium wigginsii* (Schlarbaum et Tsuchiya, 1984). La filiation avec *Sequoia* et *Sequoiadendron* paraît moins évidente, mais en tous cas plus facilement discernable qu'avec *Cunninghamia* et *Cryptomeria*, autres Taxodiacées.

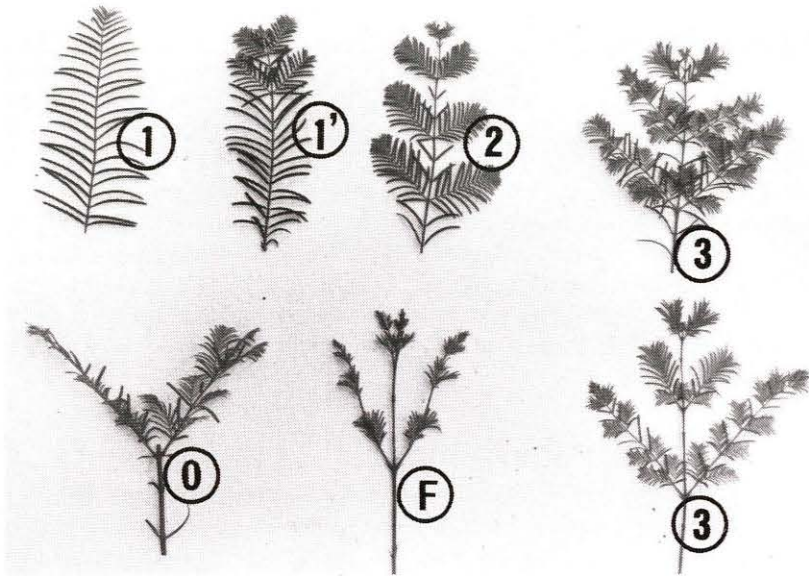
23 - ÉLÉMENTS DE MORPHOLOGIE

Comme en témoignent certaines discordances dans les descriptions, les caractéristiques morphologiques de l'appareil végétatif du métaséquoia s'avèrent être à la fois subtiles et complexes. Chez cette espèce monoïque (Callen 1976, Sterling 1949), les feuilles aciculaires, simples et graciles, mesurent 10 à 20 mm de long pour 1 à 2 mm de large. Leur couleur vert tendre vire dans les teintes automnales avant l'abscission liée à la caducité des organes photosynthétiques, ce qui peut être interprété comme une adaptation originelle au climat local caractérisé par des variations saisonnières très marquées entre l'été et l'hiver. Bien que la plupart des productions végétatives (rameaux et feuilles) puisse être assimilée à un type distique opposé (Callen 1976, Destremau 1981), souvent vérifié au niveau des bourgeons et des axes qu'ils engendrent, l'observation affinée dénote certaines particularités, sur le plan de la phyllotaxie notamment, qui singularisent l'espèce (Böcher 1964, Sterling 1949). L'originalité s'exprime également au niveau des ramifications avec la coexistence, du moins pendant la période de végétation, de rameaux courts caducs et de rameaux pérennants. L'ensemble confère au végétal des changements de physionomie très remarquables en fonction des saisons. Les principales caractéristiques de ces deux catégories d'axes méritent d'être précisées, en raison notamment de leur impact sur le bouturage. Les descriptions se rapportent à la figure n° 3.

FIGURE N° 3

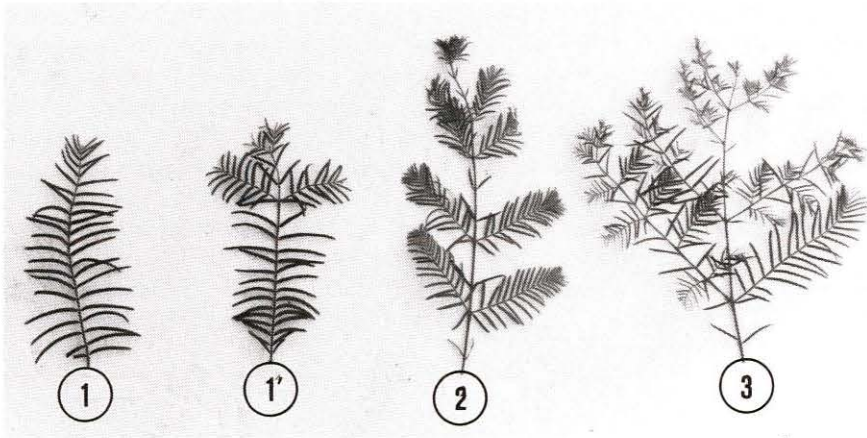
*Différents types morphologiques de ramets susceptibles d'être prélevés
durant la période de végétation de Metasequoia glyptostroboides*

*Different morphological types of ramets which can be removed
during the growing season to be used as cuttings*



• figure n° 3a

- Les types "F" et "O" proviennent des axes principaux pérennants orthotropes et correspondent respectivement à la flèche ("F") et aux portions sous-jacentes ("O" : "boutures de nœuds").
- Les types "1", "1'", "2" correspondent aux axes courts (voir § 23), caractérisés par "1". Le type "2T" est une variante de "2" (voir fig. n° 5c). Le type "3" peut évoluer en axe persistant.



• figure n° 3b

Détails des axes courts caducs caractérisés, excepté
pour le type "3" (voir § 23)



Métaséquoia (planche botanique dessinée par le Dr. H.H. Hu).
(extrait de *Arnoldia* - vol. 8, n° 1, mars 1948)

Les rameaux courts, caducs, portent de nombreuses feuilles étalées à la lumière et remplissent de ce fait une fonction essentiellement photosynthétique, qui peut expliquer la dénomination de «macrophyllé» parfois consacrée (Böcher 1964). Les formes les plus simples (types 1 et 1') sont constituées d'un axe grêle, vert, à section carrée, porteur de nombreuses feuilles insérées sur des entrenœuds très courts, et qui maintient l'ensemble du rameau en situation plagiotrope. Les formes les plus développées portent des ramifications d'ordre 2 (type 3). L'absence de bourgeon terminal en fin de croissance du rameau caractérise ces formations caduques relativement polymorphes (types 1, 1', 2, voire type 3).

Ces rameaux caducs sont portés par des axes pérennants, à croissance monopodiale rythmique (Edelin 1977). Parmi ceux-ci, des axes vigoureux, orthotropes à croissance indéfinie (Edelin 1977) (types 0 et F)

édifient activement l'architecture de l'arbre. Les entrenœuds formés en pleine activité sont longs et espacent des ramifications d'ordre 1, fréquemment opposées, caduques ou pérennantes (Böcher 1964). Certains axes persistants se différencient des précédents par une morphologie plus réduite et une croissance définie à court terme, dans des directions variables (Edelin 1977). Durant leur mise en place, il est relativement mal aisé de distinguer ces structures pérennantes (type 3), dont le bourgeon terminal caractéristique mais petit apparaît tardivement, de leurs homologues caduques les plus développées. Leurs devenir respectifs, avec les conséquences que cela entraîne en matière de bouturage comme nous le verrons par la suite, sont pourtant radicalement opposés.

24 - DONNÉES ÉCOLOGIQUES

De son aire d'origine, le métaséquoia conserve une prédilection pour les sites bien pourvus en eau (Rol 1949), comme le suggère son feuillage exubérant et tendre, recouvert d'une mince cuticule (Sterling 1949). Certaines analogies morphologiques et anatomiques avec le cyprès chauve laissent présager une adaptation spécifique à des situations hydromorphes temporaires (Böcher 1964) et l'implantation du métaséquoia dans des terrains lui permettant de profiter rapidement des ressources hydriques d'une nappe phréatique proche (terrains à peupliers, fonds de vallées, bordures de cours d'eau) paraît conseillée. En revanche, les stations

desséchantes à faible degré hygrométrique sont à proscrire (Wyman 1968). Un bilan hydrique déficitaire constitue un véritable handicap pour l'épanouissement de cette espèce qui supporte en période de pleine végétation dans son aire naturelle des températures estivales élevées, mais associées à une forte pluviométrie (voir tableaux n° 1 et figure n° 2). Par ailleurs, nous avons pu constater, en accord avec la bibliographie (Ju 1984, Lenoir 1956, Wyman 1968), une bonne résistance au froid (-25°C) de l'espèce en repos végétatif. Des gelées printanières inopinées et tardives peuvent néanmoins causer des dommages partiels sans réelles conséquences sur les pousses fraîchement débourrées. Sur le plan édaphique, cette essence de lumière semble s'accommoder d'une grande variété de sols acides et même calcaires à condition que ceux-ci soient malgré tout suffisamment pourvus en eau.

25 - INTÉRÊT POTENTIEL POUR LA FORESTERIE

Dans les stations suffisamment humides, le métaséquoia reprend bien à la plantation, sous réserve que celle-ci soit effectuée lorsque les plants sont en repos végétatif, la montée de sève au printemps étant relativement précoce. L'espèce exprime très rapidement dans ces conditions une croissance et une vigueur juvénile surprenantes sans crise de transplantation marquée, surtout lorsque les plants mis en place sont jeunes et produits en mottes à l'issue d'une saison de végétation en pépinière. Ces potentialités de croissance ont été remarquées par de nombreux auteurs (Bonduelle et al. 1982, Boullard 1982, Callen 1976, Destremau 1981, Dieterich 1955, Ju 1984, Wyman 1968) et, à ce sujet, les données de l'inventaire établi par Kuser (1982) transcrites dans le tableau n° 2, sont tout à fait éloquentes. Ces constatations corroborent nos premiers résultats et impressions quant au comportement de l'espèce en reboisement sur le territoire national, et laissent augurer une forte productivité en bois, à l'abri de risques phytosanitaires (Boullard 1982, Kuser 1982, 1983 a).

D'autre part, les quelques observations et analyses réalisées jusqu'alors dénotent un bois léger et tendre qui présente certaines analogies avec celui de *Sequoia sempervirens* ou de *Sequoiadendron giganteum* (Destremau 1981, Dieterich 1955, Kuser 1982). Ses fibres longues notamment lui confèrent une bonne résistance mécanique. Par ailleurs, son caractère imputrescible et sa durabilité incitent à l'utiliser pour les constructions extérieures (charpentes, clôtures, Kuser 1982).

De toute évidence, le bois de métaséquoia, peu connu actuellement, mériterait des études plus approfondies. Les premières caractéristiques technologiques le destinent en France à une exploitation sous forme de bois de trituration dont l'approvisionnement sera favorisé par la forte croissance de l'espèce susceptible de rejeter de souche. Certains individus pourront fournir du bois d'œuvre (charpentes) de teinte rougeâtre (Ju 1984, Wyman 1968); mais le principal atout de cette essence réside dans sa vigueur

végétative qui prône son utilisation au sein de systèmes de régénération intensive de biomasse ligneuse, à courtes rotations, dans des terrains adaptés (Bonduelle et al. 1982, Ju 1984).

TABLEAU N° 2
*Mensurations en 1981 des 15 plus beaux Metasequoia glyptostroboïdes
inventoriés par Kuser (1982, 1983a)*
*Measurements in 1981 of the 15 largest Metasequoia glyptostroboïdes
reported by Kuser (1982, 1983 a)*

Lieux d'implantation aux U.S.A.	Date de plantation	Hauteur en m	Circonfér. à 1,30 m en m	Diamètre du houppier en m	Accroissem. en hauteur moyen estimé en cm/an
Locust Valley, New-York	1949	24,1	3,91	12,2	75
Williamsburg, Virginia	1949	31,7	2,89	13,7	99
Auburn, Alabama	1952	27,4	3,12	15,5	94
Princeton, New-Jersey	1949	25,9	3,20	12,2	81
Winterthur, Delaware	1949	23,8	3,28	12,2	74
Gladstone, New-Jersey	1950	25,0	3,05	12,5	81
Northampton, Massachusetts . .	1949	21,9	3,05	12,8	68
Philadelphia, Pennsylvania	1953	21,3	2,67	12,2	76
Corvallis, Oregon	1949	23,2	2,57	9,4	72
Kennett Square, Pennsylvania . .	1949	21,3	2,64	11,0	69
Berkeley, California	1949	27,4	2,16	7,3	88
Asheville, North Carolina	1950	24,7	2,29	9,1	80
Princeton, New-Jersey	1949	25,3	2,16	11,0	79
Princeton, New-Jersey	1949	21,6	2,44	9,1	67
Barrington, Rhode Island	1949	23,2	2,21	11,9	72

26 - MULTIPLICATION

La multiplication du métaséquoia par semis est entravée par un certain nombre d'inconvénients. Comme le rappelle Kammeyer (1962), l'obtention de graines a longtemps été problématique du fait de l'isolement géographique des peuplements naturels. L'approvisionnement en graines à partir de ces individus endémiques demeure actuellement très occasionnel, quantitativement limité et onéreux à cause des difficultés d'organisation et de récolte. De plus, si la qualité germinative de ces graines nous a paru tout à fait satisfaisante, en accord avec Kammeyer (1962) et Krüssmann (1966), la variabilité géographique des provenances reste très réduite. Par ailleurs, les individus implantés dans les pays occidentaux, suite à la première récolte organisée en 1947 par l'Arnold Museum (Chu et Cooper 1950), étaient trop jeunes pour fructifier. Ce n'est plus le cas et il est actuellement possible de récolter sur des semenciers introduits. Malheureusement bon nombre de ces individus sont souvent plantés isolément, à des fins ornementales; cet isolement spatial expliquerait la piètre valeur des graines récoltées dans ces conditions (Johnson 1974), la plupart du temps stériles chez cette espèce monoïque naturellement sujette au phénomène d'inbreeding dénoncé par Kuser (1983 b). Selon cet auteur, l'"inbreeding depression" s'exprimerait notamment par un amoindrissement de la faculté germinative et une dépréciation notable de la qualité de la descendance.

Face à cette situation actuelle, et en attendant de pouvoir disposer plus facilement et à moindres coûts de semences de qualité issues de fécondations croisées — panmixie, vergers à graines, pollinisation contrôlée — (Kuser 1983 a et b), les multiplicateurs de métaséquoia ont recours au bouturage (Destremau 1981, Johnson 1974, Ju 1984, Kammeyer 1962). Outre la possibilité d'assurer ainsi une production de plants de qualité très prisés en pépinières ornementales, cette technique de multiplication végétative permet parallèlement de cloner des individus sélectionnés pour telle ou telle caractéristique avantageuse. D'un point de vue sylvicole, aux critères de sélection habituels : vigueur, rectitude du tronc, finesse des branches, aptitude au bouturage,... pourraient s'ajouter plus spécifiquement la date de débourrement (sensibilité aux gelées tardives), la faculté de rejeter de souche et, ultérieurement, la qualité du bois.

Ces différentes raisons nous ont incités à analyser les éventuels problèmes posés par le bouturage du métaséquoia, pour essayer dans un second temps de les solutionner.



3. bouturage

31 - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Les renseignements bibliographiques indiquent que le métaséquoia présente une bonne aptitude au bouturage (Boullard 1982, Creech 1948, Destremau 1981, Hartmann et Kester 1975, Krüssmann 1966, Johnson 1974). Ce bouturage est effectué essentiellement sous forme herbacée durant la belle saison (Kemp 1948, Krüssmann 1966), bien que le bouturage de bois sec soit également parfois pratiqué (Connor 1982, Hartmann et Kester 1975, Kammeyer 1962, Pokorny 1972). Il ressort de certains écrits que le choix des ramets (Kammeyer 1962), ainsi que la date du bouturage (Kammeyer 1962, Kemp 1948, Pokorny 1972), peuvent avoir une incidence sur l'enracinement et sur la reprise de croissance ultérieure des boutures enracinées repiquées. D'autre part, l'utilisation de composés auxiniques, principalement d'AIB (Connor 1962, Hartmann et Kester 1975, Pokorny 1972) stimule la rhizogenèse dans un substrat convenable, relativement filtrant et léger (Kammeyer 1962), déterminé en fonction de l'ambiance de bouturage. Ces différents éléments ont été pris en considération dans le cadre de nos essais de bouturage réalisés dans la serre horticole en verre de la station de culture AFOCEL de Marvejols (Lozère) et présentés ci-après.

32 - DONNÉES EXPÉRIMENTALES

321 - MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les boutures proviennent d'un système de bouturage en cascade, ou de pieds-mères.

- Le principe du bouturage en cascade est rappelé figure n° 4. Les boutures de la génération n sont prélevées dans la partie basale de celles de la génération n -1, élevées en mottes Melfert standard en sub-irrigation à l'intérieur de la serre depuis dix mois. Les plants satisfont à deux vocations: fourniture de ramets qui assurent la perpétuation de la cascade et utilisation pour les plantations. Notre matériel d'étude, issu de semis regroupant 70 génotypes, est entretenu depuis cinq ans dans ce système de bouturages successifs par des rotations annuelles.

- Les pieds-mères sont cultivés depuis deux ans individuellement dans des conteneurs de 3 litres remplis de substrat horticole (7 volumes d'écorce de pin compostée pour 3 volumes de tourbe) en serre froide. Le matériel provenant initialement de la 3^{ème} génération de bouturage en cascade correspond à une soixantaine de clones représentés chacun par 3 pieds-mères. En janvier et en juin, ces pieds-mères sont sévèrement taillés à l'occasion des récoltes de matériel requis pour les bouturages à ces périodes. La fertilisation est effectuée au départ de la végétation sous forme d'engrais complet 20-20-20 apporté par arrosage, puis en cours de croissance par des pulvérisations foliaires d'engrais 28-14-14.

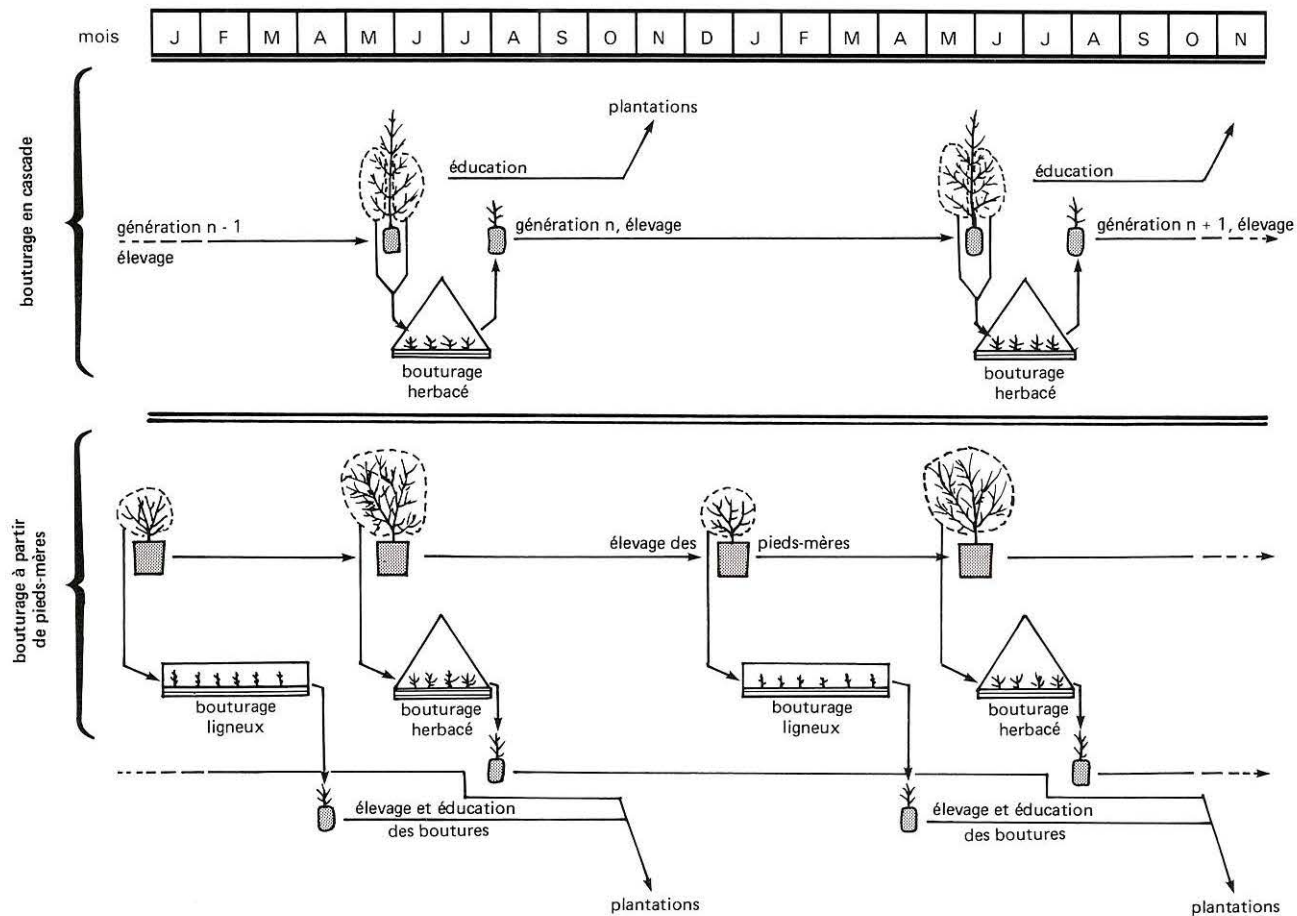


n° 3 et 4 : Débourrement printanier consécutif à une taille hivernale radicale.

FIGURE N° 4

Présentation comparée des techniques de bouturage « en cascade » et à partir de pieds-mères, utilisées sur *Metasequoia glyptostroboides* à la station Afocel de Marvejols (voir § 321)

Schematic compared illustration of techniques of serial vegetative propagation and propagation from stock plants, as practiced for the propagation by cuttings of *Metasequoia glyptostroboides* in the Afocel nursery of Marvejols - France - (see § 321)



Bouturage herbacé

n° 5 : pieds-mères en
conteneurs de 3 litres.



n° 6 : «boutures-mères»
élevées en mottes Mel-
fert maintenues dans des
caisses-portoirs Stamp,
en subirrigation (sys-
tème de bouturage en
cascade).



n° 7 : vue d'ensemble
• au premier plan, les
«boutures-mères» du
bouturage en cascade;
• au second plan, les
pieds-mères en conte-
neurs.



322 - CONDITIONS DE BOUTURAGE

Le bouturage herbacé a lieu au mois de juin. Les boutures mesurent 8 à 10 cm de longueur, en moyenne. Une entaille longitudinale (Hartmann et Kester 1975) de 1 cm de long environ est pratiquée à la base du dernier entrenœud conservé le plus long possible (type A, figure n° 5A).

FIGURE N° 5

Détails de la zone basale des boutures (E = x1)

Basal part of the cuttings in details (S = x1)

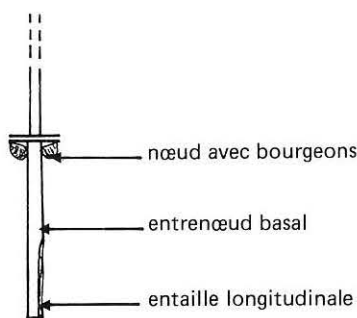


Figure n° 5a : type traditionnel
type A du § 353
usual type (type A in § 353)

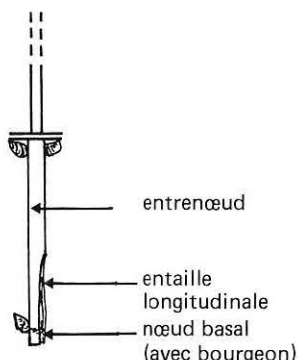


Figure n° 5 b : type B du § 353
(type B in § 353)

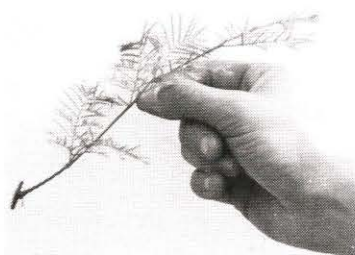
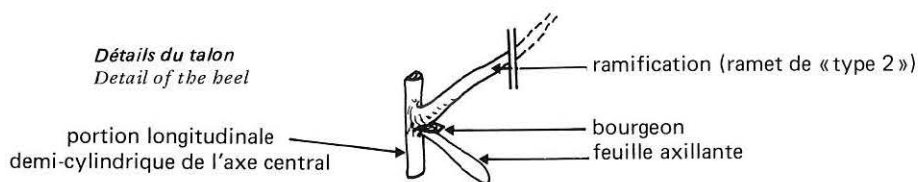


Figure n° 5c : bouture à talon
heel cutting



L'application par trempage à ce niveau de composés auxiniques stimulant la rhizogenèse est précisée en cas d'utilisation. En effet, ces substances ont été peu employées, car susceptibles de perturber l'analyse d'éventuels gradients naturels d'aptitude à l'enracinement en fonction de l'architecture des ortets. Chaque barquette de bouturage (39 x 15 x 7 cm), remplie de substrat de bouturage (3 volumes de perlite pour 1 volume de tourbe blonde) humidifié par une solution antifongique, accueille 50 boutures. L'enracinement se déroule dans des enceintes constituées de 2 pans grillagés inclinés servant de support à un film synthétique en fibres non tissées et intérieurement plastifié. Ce fin revêtement est maintenu constamment humide. Des brumisateurs programmés assurent une hygrométrie saturante nécessaire à l'intérieur du confinement. L'ensemble de ces équipements est complété par des systèmes d'ouvrants et d'ombrières automatiques afin d'éviter des chaleurs excessives préjudiciables aux boutures herbacées en cours d'enracinement (cf. photos 8, 9, et 10). Malgré ces mesures, des relevés quotidiens indiquent que la température estivale peut monter



Enceintes de bouturage herbacé

n° 8 : Enceintes de bouturage herbacé : vue d'ensemble extérieure (un tuyau poreux situé au faite de l'enceinte et maintenu sous pression d'eau humidifie les parois en fibres non tissées).



n° 9 : Vue intérieure de l'enceinte : on aperçoit dans le fond le brumisateur; les barquettes de bouturage reposent sur des nodules de laine de roche hydrophobe, visibles au premier plan.



n° 10 : Boutures herbacées de Méta-séquoia dans les enceintes adaptées (la trame grillagée sert de support au film synthétique de fibres non tissées et intérieurement plastifié).

jusqu'à 40°C à l'intérieur des enceintes, la moyenne des maxima journaliers se situant autour de 34°C (Goubier, 1987). Durant la phase d'enracinement, des anticryptogames en solution sont pulvérisés chaque semaine, en alternant les matières actives. Comme le mentionnent Creech (1948), Kammeyer (1962) et Kemp (1948), les premières racines néoformées peuvent apparaître au bout de 3 semaines. Un délai d'enracinement de 2 mois a été retenu dans nos conditions et à cette échéance les boutures enracinées sont repiquées, sevrées, puis élevées en serre selon le schéma de la figure n° 4.

Le bouturage de « bois sec » ou ligneux est effectué durant l'hiver, en janvier à partir des pieds mères prévus à cet effet. Cette technique diffère du bouturage herbacé par certains aspects qu'il convient de signaler. Les boutures, provenant exclusivement d'axes persistants dégarnis, avoisinent 6 cm de long et s'enracinent à l'« étouffée », en atmosphère confinée saturée en humidité. L'enceinte, basse, est limitée par un film plastique fin ; la température ambiante de ce volume réduit se maintient autour de 20°C alors qu'un chauffage de fond assure 23°C au sein du substrat de bouturage. Celui-ci est composé de 1 volume de sable, 1 volume de tourbe et 1 volume de nodules de laine de roche hydrophobe (Grodan). Le délai de rhizogenèse est fixé à 3 mois ; début avril l'essai est lu et à cette occasion les boutures enracinées sont repiquées en mottes Melfert pour être cultivées en serre jusqu'à leur départ en plantation à l'automne.

323 - MESURES ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

Au sein de chaque variante expérimentale, les ramets sont scindés en groupes de 10 unités pour constituer les parcelles élémentaires des dispositifs randomisés. Les résultats quantifiés sont principalement exprimés en pourcentages d'enracinement de l'effectif initial N, complétés accessoirement par le nombre moyen de racines primaires néoformées par bouture. Ces données sont présentées sous forme d'histogrammes. Les intervalles de confiance figurés sont appliqués au seuil de signification $p = 5\%$ retenu également pour les divers autres tests statistiques utilisés (χ^2 , analyse de variance).

33 - PREMIÈRES OBSERVATIONS

Des essais préliminaires ont permis d'analyser et de définir certains aspects du bouturage du métaséquoia, présentés ci-après. Le matériel végétal utilisé à cette occasion, sauf précision, est constitué essentiellement de boutures herbacées, sans distinctions morphologiques, provenant du système de bouturage en cascade.

331 - SUBSTRAT DE BOUTURAGE

La nature du substrat de bouturage influe sur les pourcentages d'enracinement, comme l'illustre le tableau n° 3. La composition adaptée est déter-

minée en fonction des caractéristiques à l'intérieur de l'enceinte de bouturage, hygrométrie notamment. Les mélanges, en proportion adéquate, de matériaux tels que la tourbe blonde, la perlite ou les nodules de laine de roche hydrophobes permettent d'obtenir un substrat approprié généralement léger, aéré et relativement filtrant (Kammeyer 1962, Krüssmann 1966)

TABLEAU N° 3

Incidence de la composition du substrat de bouturage sur le pourcentage d'enracinement après trempage de la base des boutures dans un mélange pulvérulent titrant 0,5 % d'IAA et 1 % de benlate

Influence of the composition of the rooting medium on the rooting rates, consecutively to the treatment of the cutting base with a 0,5 % IAA + 1 % Benlate root-promoting powder

Composition du substrat	1 v.* tourbe blonde 3 v. perlite	2 v. tourbe blonde 1 v. perlite	1 v. écorces broyées 1 v. perlite
Proportions et pourcentages d'enracinement...	472/612 77,1 %	493/985 50 %	236/611 38,6 %

* v = volume

L'analyse de variance appliquée à ces résultats indique un effet substrat hautement significatif sur le pourcentage d'enracinement ($p < 1\%$).

332 - ENTAILLE BASALE

L'effet bénéfique de l'entaille est mis en évidence dans le tableau n° 4.

TABLEAU N° 4

Incidence de l'entaille basale sur l'enracinement des boutures

Influence of the basal slash of the cuttings on their rooting rates

Variante de traitement	avec entaille	sans entaille
Résultats du bouturage ligneux	25/62 soit 40,3 %	14/58 soit 24,2 %
Résultats du bouturage herbacé (vieux pieds-mères)	28/50 soit 54 %	18/50 soit 36 %
Résultats cumulés	53/112 soit 47,3 %	32/108 soit 29,6 %

Le test du χ^2 appliqué à ces résultats indique un effet entaille significatif sur le pourcentage d'enracinement pour le bouturage ligneux ($p < 1\%$), pour le bouturage herbacé ($2,5\% < p < 5\%$) et pour l'ensemble ($1\% < p < 1\%$).

333 - SUBSTANCES RHIZOGENES EXOGENES

L'influence sur le pourcentage d'enracinement de trois produits commerciaux : Rhizopon A, Rhizopon AA et Rhizopon B, titrant respectivement

0,5 % d'AIA *, 0,5 % d'AIB * et 0,1 % d'ANA * et censés stimuler la rhizogénèse, a été analysée par rapport à un témoin non traité. Les résultats correspondants sont consignés dans le tableau n° 5. Nous constatons, dans nos conditions expérimentales, un effet positif de l'AIB, alors que l'intérêt des traitements à base d'AIA et ANA est plus discutable. L'essai mériterait d'être reconduit pour d'autres concentrations en matière active.

TABLEAU N° 5
*Influence de substances rhizogènes exogènes
sur le pourcentage d'enracinement*
Influence of the root-promoting substance treatment on the rooting ability

Substances testées	Rhizopon A 0,5 % AIA	Rhizopon AA 0,5 % AIB	Rhizopon B 0,1 % ANA	Témoin non traité
Proportions et pourcentages d'enracinement	104/202 51,5 %	152/198 76,8 %	118/200 59 %	120/203 59,1 %

334 - DEVENIR DES BOUTURES ENRACINÉES

Du fait de leur état très herbacé, les boutures enracinées et repiquées durant l'été requièrent une attention particulière dès le repiquage, puis durant les premiers temps du sevrage afin d'éviter tout stress hydrique inopiné ou brûlures préjudiciables. Un ombrage exagéré peut néanmoins favoriser le développement de *Botrytis cinerea*. Deux à trois semaines après le repiquage, dès que les racines ont colonisé la motte, le confinement peut être progressivement ouvert afin d'acclimater graduellement les plants. Dans ces conditions, les pertes au sevrage sont insignifiantes et certaines boutures peuvent pousser avant l'hiver.

En dépit de cette évolution satisfaisante, bon nombre de plants acclimatés ne redémarrent pas au printemps suivant, confirmant les observations de Kammeyer (1962). Il semble que ces défections sont d'autant plus importantes que le bouturage herbacé, et par suite le repiquage, a été effectué tard en saison. Ainsi, nous n'avons pu sauver que 45 % des boutures repiquées fin août (bouturées début juillet) contre 71,5 % pour celles repiquées fin juillet (bouturage début juin). Conjointement, Poissonnier (communication personnelle) a pu dénombrer que 90 % d'un effectif repiqué en octobre n'est pas reparti au printemps suivant et a donc été perdu.

* Substances chimiques à effet présumé rhizogène :
AIA : acide indole acétique
AIB : acide indole butyrique
ANA : acide naphthalène acétique

335 - COMMENTAIRES

Certains aspects des observations précédemment formulées méritent d'être développés : si la pratique de l'entaille basale augmente le pourcentage d'enracinement, cette opération doit rester discrète et relativement superficielle. Bien souvent, en effet, nous avons pu remarquer qu'aucune racine adventive néoformée n'émergeait de la zone entaillée, vraisemblablement du fait de la suppression à ce niveau de l'assise régénératrice libéro-ligneuse.

D'autre part, bien que les pourcentages d'enracinement à partir de bouturage herbacé soient satisfaisants, les pertes enregistrées ultérieurement constituent un handicap auquel il faut remédier. L'hypothèse la plus plausible concernant ces défections saisonnières revient à considérer l'origine des boutures, et plus précisément à distinguer au sein des pieds-mères les axes caducs des axes pérennants. Les pertes enregistrées seraient d'autant plus importantes que la proportion de boutures à destinée caduque serait élevée, avec la possibilité éventuelle de renverser le déterminisme de la caducité induite sur le pied-mère par un enracinement ou sevrage — ce dernier terme incluant la notion d'indépendance vis-à-vis du pied-mère — précoce (début juin dans nos conditions), suivi d'une reprise de croissance avant la mauvaise saison. En effet, les boutures repiquées ayant émis une pousse avant la chute des feuilles repartent toutes au printemps suivant.



Serre de bouturage de l'Afocel au Domaine de l'Étançon : pieds-mères de *Metasequoia*

Une autre solution consiste à sélectionner, lors du prélèvement, les rameaux pérennants qui seront préférentiellement bouturés, des rameaux caducs. Cette discrimination pourrait s'établir à partir des caractéristiques

morphologiques (voir § 23) pour le matériel herbacé, ou plus radicalement en optant pour le bouturage ligneux durant l'hiver après la chute des axes caducs. Nous avons étudié ces deux procédures en l'absence de tout traitement exogène.

34 - RÉSULTATS DE BOUTURAGE HERBACÉ

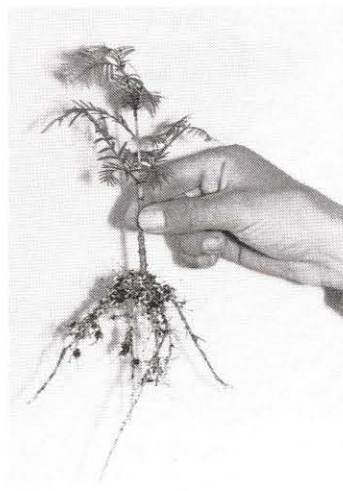
341 - INFLUENCE DU CHOIX DES BOUTURES A PARTIR DE CRITERES MORPHOLOGIQUES

Un premier essai permet d'apprécier les aptitudes comparées d'enracinement des différentes catégories morphologiques définies précédemment (§ 23). Les figures n° 6 révèlent la supériorité des axes pérennants de type O et F, par rapport aux axes caducs, caractérisés par le type 1. Ces différences concernent le pourcentage d'enracinement, la reprise après la quiescence hivernale et par conséquent le rendement global. L'analyse qualitative de l'enracinement adventif présenté figures n° 7 sous forme d'histogrammes de fréquence du nombre de racines par bouture traduit la même tendance : les ramets régénèrent un appareil racinaire d'autant plus fourni qu'il s'agit d'axes persistants (type O, F et même 3).

Néanmoins les résultats des figures n° 8 indiquent qu'il est illusoire de prétendre accroître le rendement du bouturage des axes de type 2 en utilisant la variante à talon 2T définie figure n° 5c comportant un bourgeon, entité pérennante prometteuse, à l'aisselle du rameau. En outre, le nombre moyen de racines par boutures 2T est inférieur aux résultats des boutures de type 3 traditionnelles (2,12 contre 2,79).



n° 11 : Boutures de « bois sec » enracinées à « l'étouffée » ; conjointement, le feuillage s'est bien développé.



n° 12 : Bel enracinement d'une bouture de type « F » (flèche).

FIGURES N° 6

Résultats du bouturage herbacé en fonction de la morphologie des boutures

Results of the greenwood propagation according to the cutting morphology as defined in § 23 and in fig. n° 3

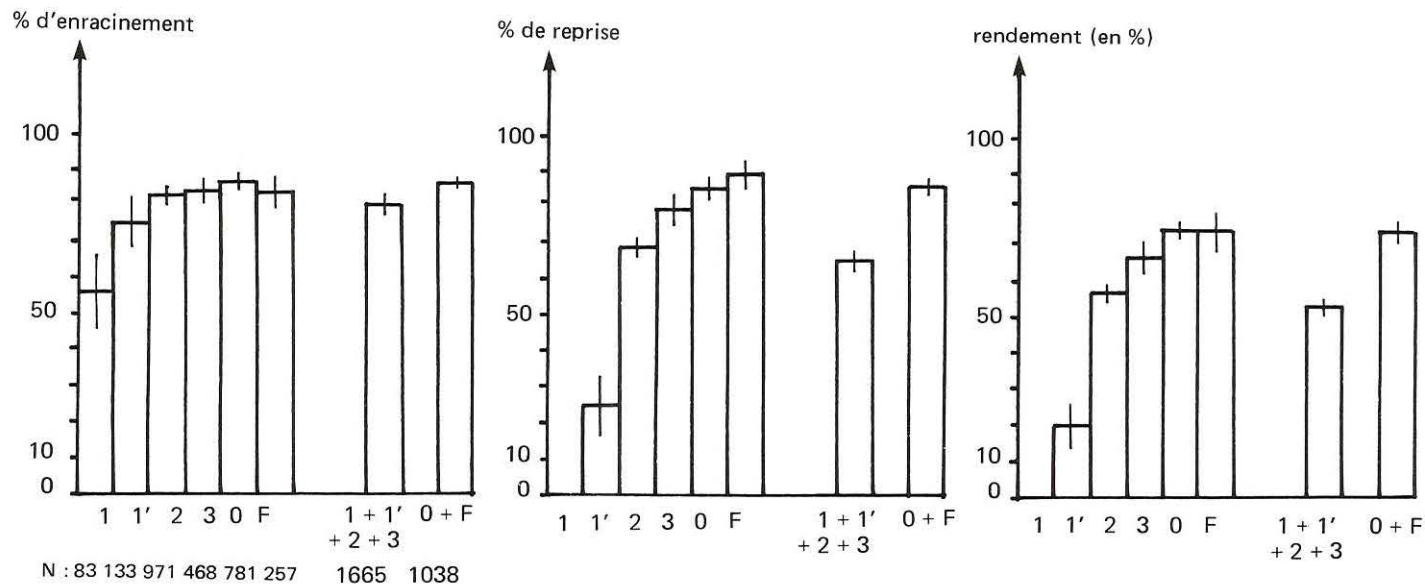


Figure n° 6a :
% d'enracinement en fonction
du type morphologique des
boutures défini § 23 et
fig. n° 23, avec N :
effectif initial.
rooting rates

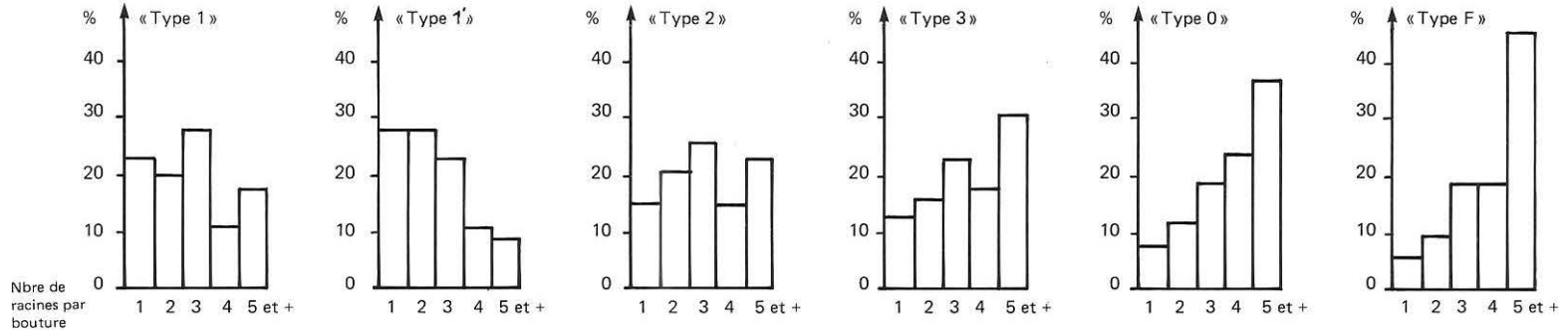
Figure n° 6b :
% de reprise après l'hiver
des boutures enracinées
(cf. 6a) et repiquées
durant l'été
survival rates in the
following spring

Figure n° 6c
rendement global : % de
reprise après l'hiver par
rapport à l'effectif initialement
bouturé N (cf. 6a)
resulting production rates

FIGURE N° 7

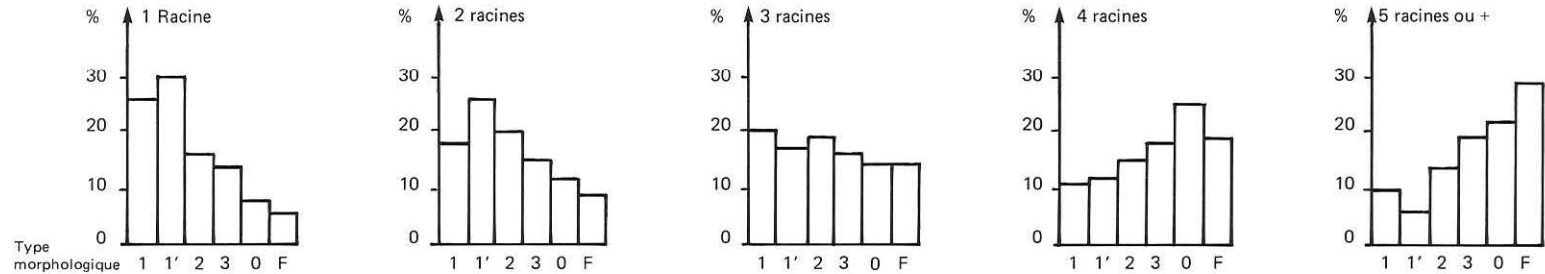
*Histogrammes de fréquence par classe d'enracinement définies
par le nombre de racines primaires néoformées par bouture herbacée :*
*Frequency histograms of the number of roots formed per cutting related
to its morphological type*

- Figures n° 7a : inventaires par types morphologiques (cf. § 23 et fig. n° 3)



(Les résultats se rapportent au matériel enraciné de la figure n° 6a)

- Figures n° 7b : répartition des types morphologiques précédents par classe d'enracinement



FIGURES N° 8

*Influence des « boutures à talon » (2T) sur le bouturage herbacé,
par comparaison aux autres types morphologiques (voir § 23, fig. n° 3 et 5c)*
*Rootabilities of « heel cuttings » compared to the other morphological
softwood cutting types*

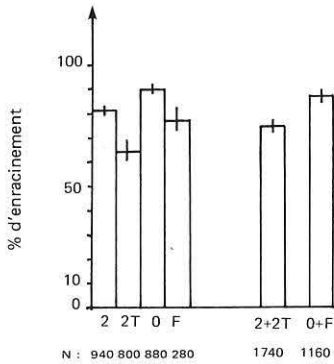


Figure n° 8a :
% d'enracinement avec
N : effectif initial
rooting rates

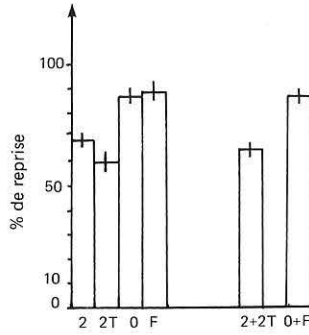


Figure n° 8b :
% de reprise après l'hiver
des boutures enracinées
(cf. 8a) et repiquées
durant l'été
*survival rates in the
following spring*

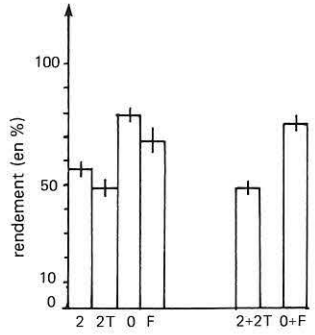
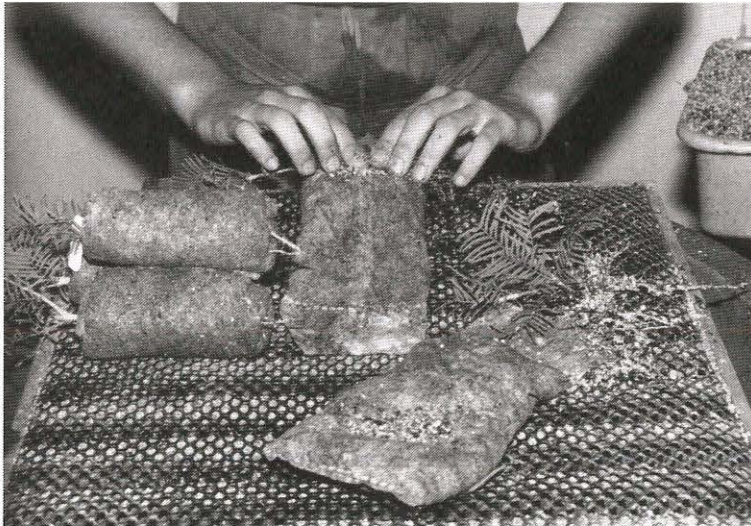


Figure n° 8c :
rendement global : % de
reprise après l'hiver par rapport
à l'effectif initialement
bouturé N (cf. 8a)
resulting production rates



n° 13 : Repiquage des boutures enracinées en mottes Melfert.

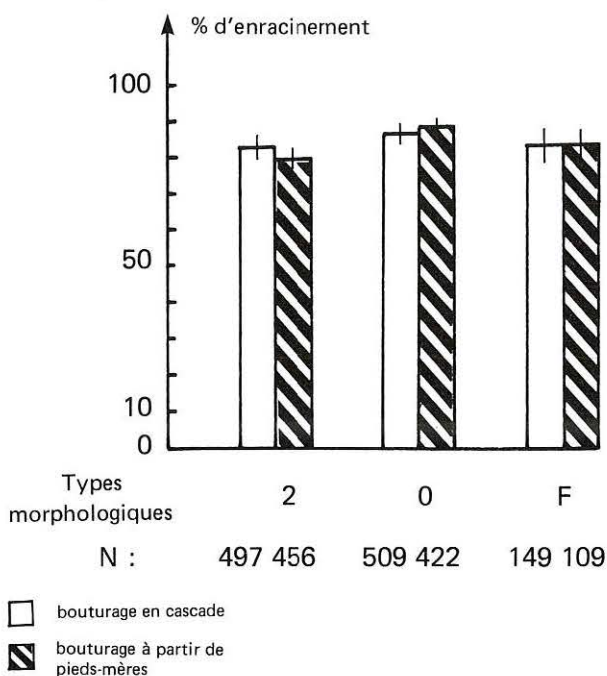
342 - COMPARAISON ENTRE LE BOUTURAGE EN CASCADE ET A PARTIR DE PIEDS-MERES

Comme l'illustre la figure n° 9, aucune différence significative de pourcentage d'enracinement n'a pu être établie, au sein de mêmes clones, entre le bouturage en cascade et à partir de jeunes pieds-mères, pour des ramets de type 2, O et F.

FIGURE N° 9 :

Enracinements comparés de boutures herbacées de différents types morphologiques provenant du bouturage en cascade ou de pieds-mères de même identité génétique

Comparative rootabilities of different morphological types of softwood cuttings coming for the same genotype from serial vegetative propagation system, or from stock plants.



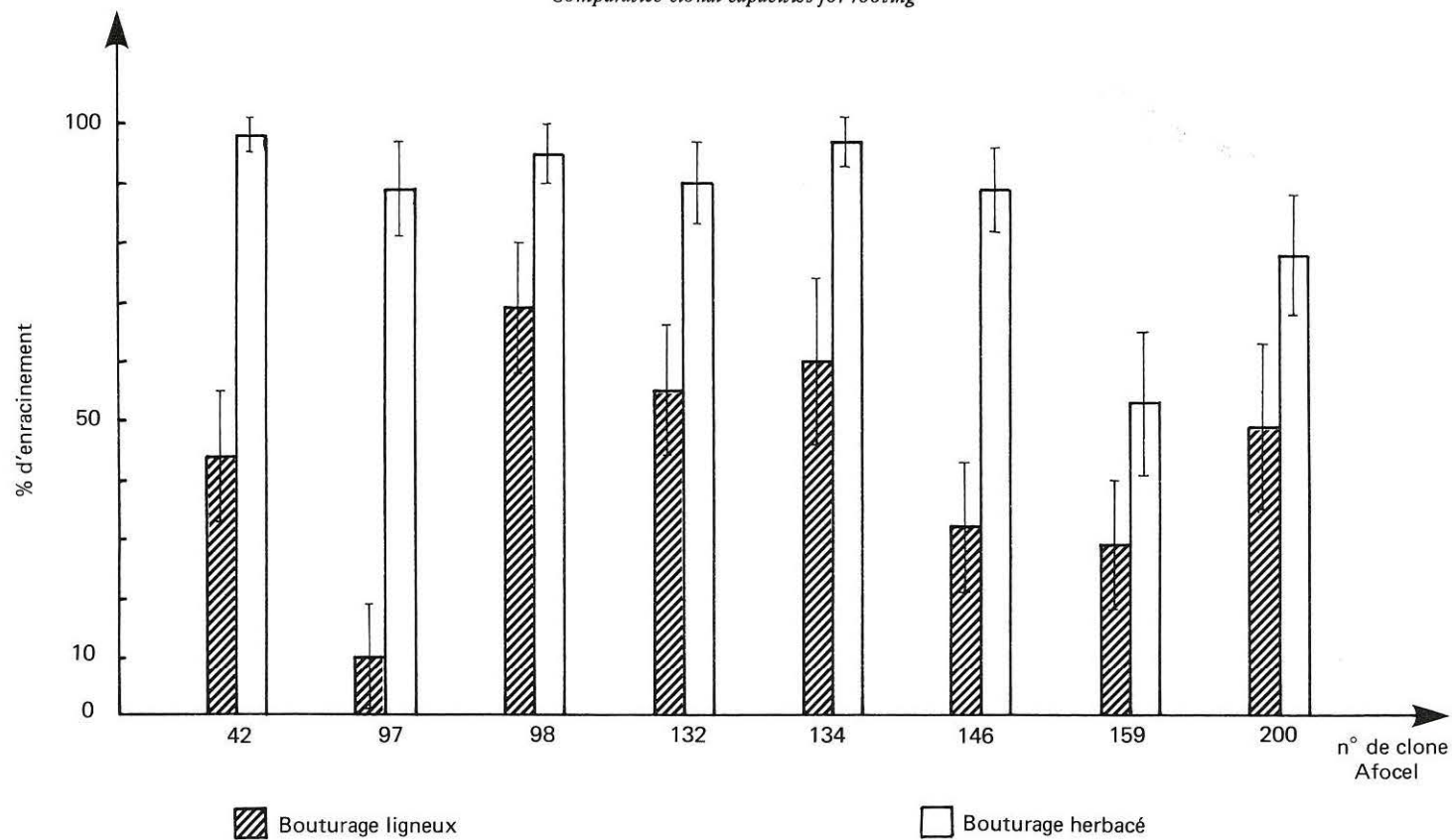
343 - DIFFÉRENCES INTERCLONALES

La figure n° 10 exprime qu'en dépit d'un pourcentage d'enracinement globalement élevé et relativement homogène, certains clones peuvent se démarquer de leurs homologues par des scores nettement plus faibles à la période considérée (cas du clone 159 par exemple).

344 - COMMENTAIRES

Le résultat le plus intéressant est manifestement l'influence du choix de la bouture, à partir de critères morphologiques sur son devenir ultérieur. Ainsi, les capacités rhizogènes et l'aptitude à la croissance ultérieure des

FIGURE N° 10 :
Aptitudes clonales à l'enracinement comparées (N ≥ 50)
Comparative clonal capacities for rooting





n° 14 : Boutures issues du bouturage herbacé en cascade; bien que la plantation s'effectue en repos végétatif, après la chute du feuillage, leur développement est excessif.



n° 15 : Boutures issues du bouturage ligneux hivernal : leur développement est idéal pour les plantations automnales.

ramets semblent être positivement corrélées à leur développement morphologique et à leur pérennité sur l'ortet. On ne saurait bien évidemment négliger les fondements histologiques et anatomiques (différenciations, apparition de tissus secondaires, assises génératrices...) du phénomène que nous n'avons malheureusement pas pu observer dans cette étude. Quoi qu'il en soit, il semble que le devenir du rameau soit déterminé très précocement chez le métaséquoia : Goubier (1987) a pu remarquer que le type morphologique relevé après trois mois de végétation n'évolue pratiquement plus ultérieurement, hormis bien sûr pour l'extrémité de la flèche et quelques axes secondaires situés dans la partie médiane de l'axe principal qui, de type 2, peuvent évoluer en type 3 persistants, bien visibles sur la silhouette hivernale.

Ce déterminisme ontogénique des unités de morphologie pourrait tirer son origine de la formation du bourgeon à la fin de l'été, ce dernier renfermant selon Sterling (1949) les articles et ébauches emboîtés télescopiquement de la future pousse, qui s'allongeront au printemps suivant, conformément à beaucoup de Gymnospermes (pins, sapins, épicéas...). La préprogrammation ontogénique des axes de type 3 « intermédiaire » — "transitional branches" (Bochert, 1964) — paraît plus ambiguë et susceptible de varier en fonction du contexte physiologique au sein de l'ortet. Suite à nos observations, il est permis de penser qu'un enracinement et un sevrage précoces puissent faire changer de sens le déterminisme de la caducité, en stimulant la vigueur de la pousse désormais autonome et en induisant la formation d'un bourgeon terminal déterminant pour la pérennité.

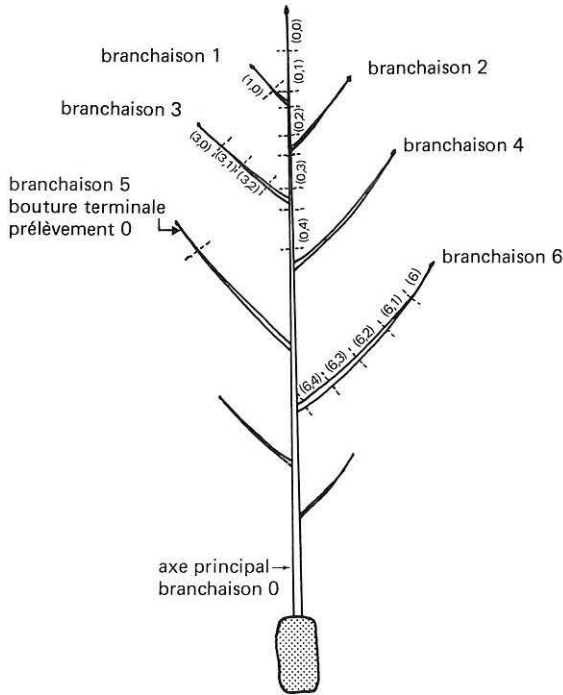
Par ailleurs, les désillusions rencontrées avec les boutures de type 2 à talon peuvent s'expliquer par la section demi-cylindrique de la base de la bouture, en arguant des mêmes arguments que pour l'entaille basale (ablation d'assises périphériques régénératrices) et par l'environnement trop humide du bourgeon axillé, au contact du substrat de bouturage susceptible de favoriser son pourrissement.

En ce qui concerne le bouturage à partir de pieds-mères comparé à la technique de la « cascade », le fait que les différences d'enracinement observées ne soient pas significatives tient peut-être à ce que les pieds-mères sont relativement jeunes. Pour cette raison, il serait judicieux de poursuivre cette étude durant plusieurs années. Il semble désormais qu'un conditionnement approprié des pieds-mères (Franclet, 1977) — irrigation, fertilisation, recépage à 10-20 cm au-dessus du sol en tirant profit de la bonne faculté spécifique à bourgeonner — soit nécessaire pour garantir une bonne aptitude rhizogène des ramets. Par contraste, à partir de pieds-mères de 5 ans, taillés à 0,8-1 m du sol, le pourcentage d'enracinement n'est plus que de 55 % environ.

35 - RÉSULTATS DE BOUTURAGE LIGNEUX

Des essais prospectifs nous ont incités à analyser, dans le cadre du bouturage ligneux, l'influence du choix des boutures sur leur enracinement en fonction de critères architecturaux, topographiques et morphologiques. Le matériel d'étude correspondant aux paragraphes 351 et 352 consiste en un échantillonnage de plants clonés obtenus par bouturage 16 mois plus tôt, repiqués en mottes Melfert et cultivés depuis lors en serre. Ces plants de 60 à 80 cm de hauteur, rigoureusement orthotropes, présentent un axe vertical principal bien individualisé (flèche), portant dans les 2/3 supérieurs des ramifications d'ordre 1, elles-mêmes non ramifiées; leur silhouette générale évoque une quenouille. Lors du prélèvement, chaque bouture est étiquetée en fonction de sa position au sein de l'architecture de l'ortet. Outre le numéro de clone, la codification individuelle indique le nombre de branchaison et le niveau de prélèvement intraraméal, selon un gradient croissant basipète explicité figure n° 11.

FIGURE N° 11
Schéma explicatif de la codification utilisée pour déterminer
les niveaux de branchaison et de prélèvement
Schema illustrating the codification used for the levels of ramet removal



Lors du prélèvement, la position de chaque bouture au sein de l'architecture de l'ortet est codifiée sous forme d'un couple (x, y), x déterminant le niveau de branchaison, croissant basipète; y déterminant le niveau de prélèvement intraraméal, croissant basipète.

351 - INFLUENCE DE L'ORDRE DE RAMIFICATION

La figure n° 12 montre que l'axe central se démarque de l'ensemble des axes latéraux par des taux d'enracinement élevés, hormis en ce qui concerne les parties apicales. Cette tendance pénalisant les boutures terminales au profit des entrenœuds sous-jacents (voir § 352) est confirmée, mais beaucoup moins nettement pour les ramifications. Globalement, l'aptitude à l'enracinement augmente avec le niveau de branchaison croissant basipète, en relation avec la vigueur des rameaux qui périssent dans la partie basale du plant (Goubier 1987).

352 - INFLUENCE DU NIVEAU DE PRÉLEVEMENT INTRARAMÉAL

Les résultats illustrés figure n° 13 sont particulièrement démonstratifs pour l'axe principal, suffisamment long pour permettre un meilleur échantillonnage. L'analyse indique que l'aptitude des boutures à l'enracinement croît alors selon un gradient topographique basipète, avec des fluctuations voire un déclin correspondant à la partie basale de l'axe, caractérisée par un diamètre supérieur impropre à une bonne rhizogenèse et une dégénérescence des axes latéraux qui tendent à disparaître.

353 - INFLUENCE DE LA MORPHOLOGIE DES BOUTURES

Un premier essai permet de comparer les capacités rhizogènes des boutures terminales (boutures de « têtes ») et de boutures de nœuds sous-jacents avec ou sans dernier entrenœud basal (respectivement type B et type A de la figure n° 5). Si les résultats d'enracinement illustrés figure n° 14 n'indiquent pas d'effets significatifs entre les différents traitements testés, l'analyse qualitative de l'appareil racinaire avantage les boutures de type A par rapport au type B.

Un deuxième essai se propose d'analyser l'influence du nombre de bourgeons par bouture sur l'enracinement, en considérant des boutures de 3 à 4 cm avec 2 bourgeons, des boutures de 4 à 5 cm avec 4 bourgeons et des boutures de 6 à 7 cm avec 6 bourgeons ou plus. L'analyse statistique des résultats reportés figure n° 15 révèle que le traitement est significatif, considérant le pourcentage d'enracinement ($p < 1\%$) et le nombre de racines par bouture ($p < 1\%$). Les boutures trop courtes avec seulement deux bourgeons sont à proscrire au profit d'axes plus longs portant plus de bourgeons.

354 - DIFFÉRENCES INTERCLONALES

Les différences interclonales d'aptitude à l'enracinement sont nettement plus marquées que pour le bouturage herbacé, comme l'indique la figure n° 10.

FIGURE N° 12
Aptitude à l'enracinement en fonction du niveau de branchaison
(bouturage ligneux, voir fig. n° 11)
Rootabilities according to the ramification level

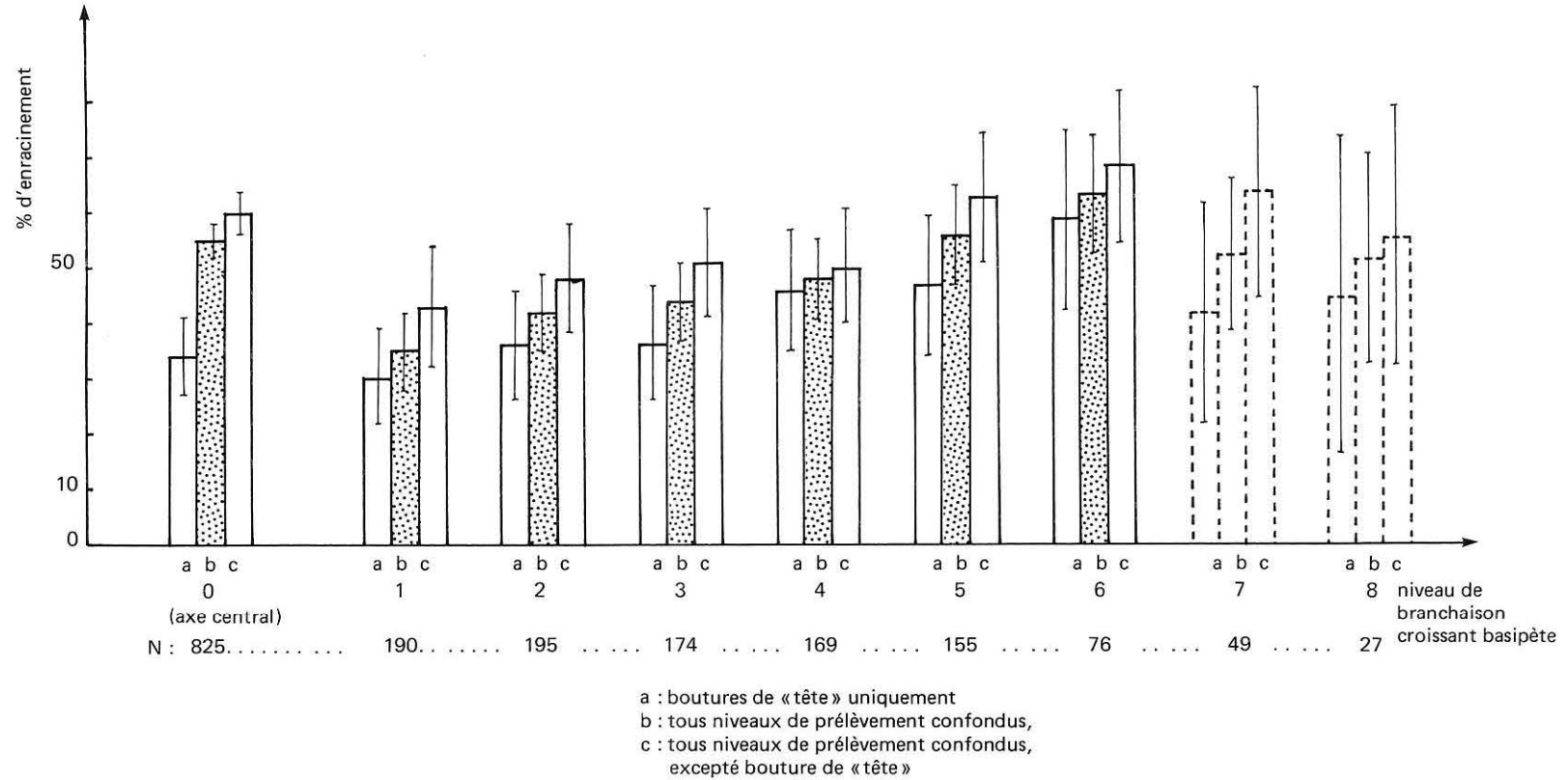
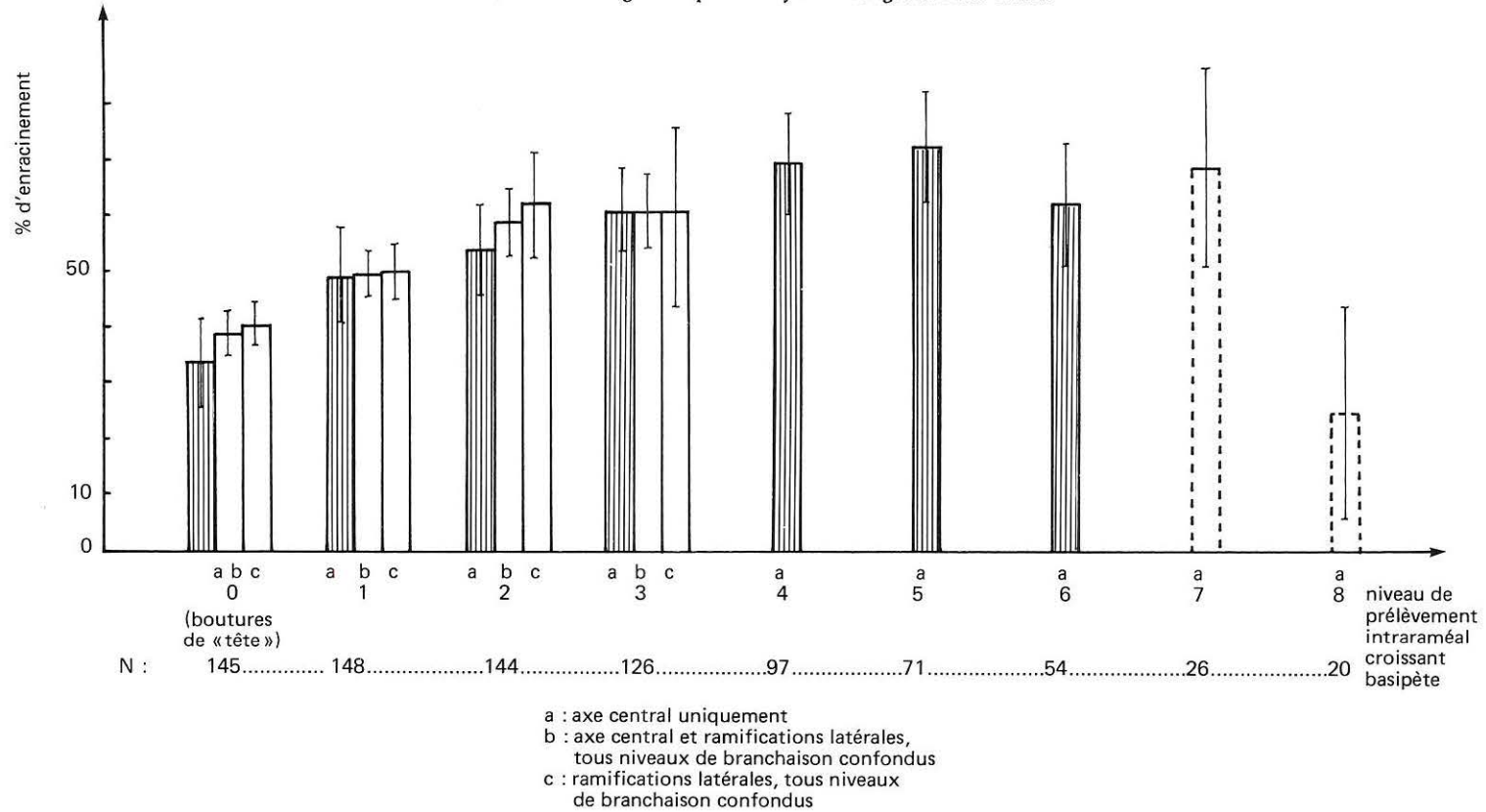


FIGURE N° 13 :
Aptitude à l'enracinement en fonction du niveau de prélèvement intraraméal
(bouturage ligneux, voir fig. n° 11)
Rootabilities according to the position of the cutting within the branch



FIGURES N° 14

Enracinements comparés de différents types de boutures ligneuses

A : boutures de nœud de type A (voir § 353 et figure 5a)

B : boutures de nœud de type B (voir § 353 et figure 5b)

T : boutures terminales (ou de « tête »)

Comparative rootabilities of different ligneous cutting types (see fig. n° 5)

Figure n° 14b

Histogrammes de fréquence basés sur le nombre de racines primaires néoformées par bouture pour chacun des 3 types considérés. Les résultats se rapportent au matériel enraciné de la figure n° 14a

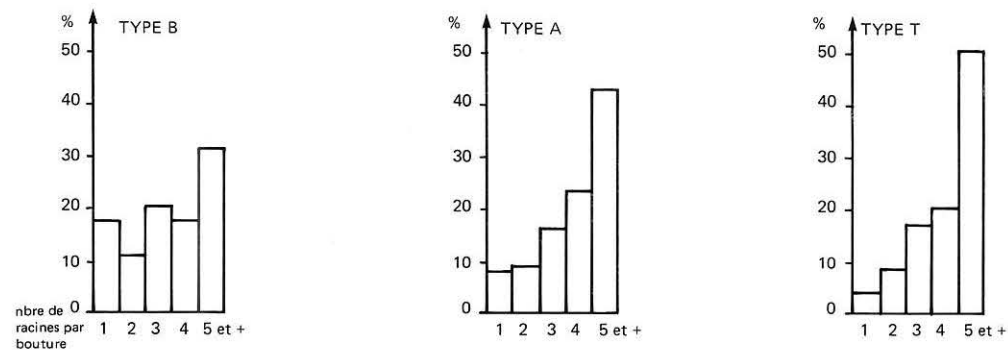
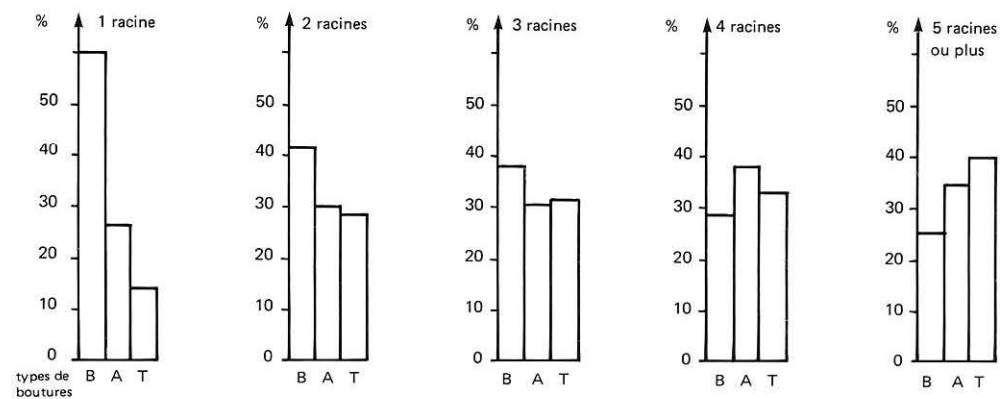
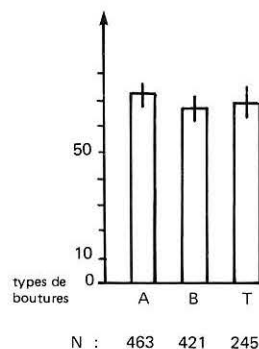


Figure n° 14c

Répartition des 3 types de boutures précédents par classe d'enracinement

Figure n° 14a :
% d'enracinement

FIGURES N° 15

**Influences sur les enracinements comparés du nombre de bourgeons (bg)
par bouture ligneuse (bte)**

Influence of the number of buds (bg) per ligneous cutting (bte) on its rootability

Figure n° 15b

Histogrammes de fréquence basés sur le nombre de racines primaires néoformées par bouture en fonction du nombre de bourgeons : les résultats se rapportent au matériel enraciné de la figure n° 15a.

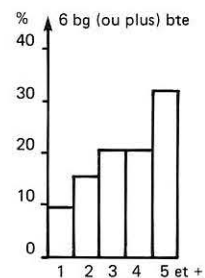
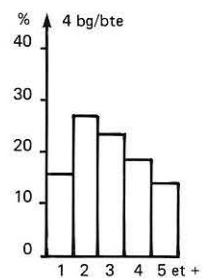
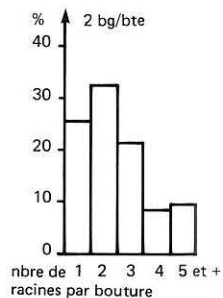
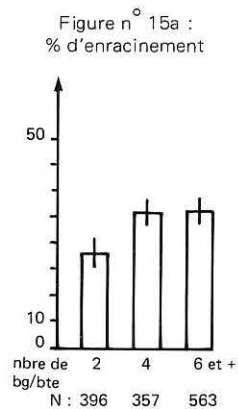
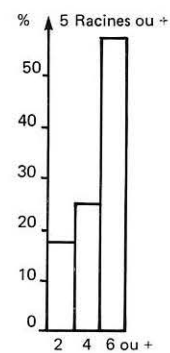
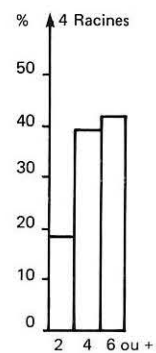
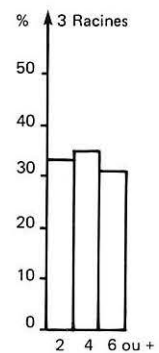
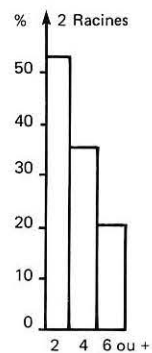
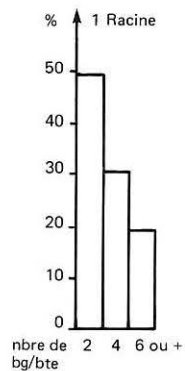


Figure n° 15c :
Répartition des 3 catégories de boutures précédentes par classe d'enracinement





355 - COMMENTAIRES

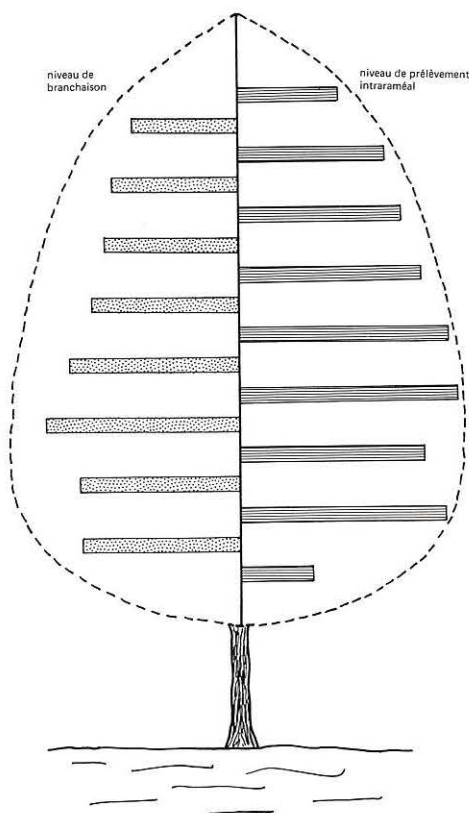
Les résultats d'enracinement relatifs au niveau de branchaison et au niveau de prélèvement mettent en évidence une variabilité intra-individu liée à la situation des ramets au sein de l'architecture de l'ortet. La représentation synthétique de la figure n° 16 quoique schématique n'en demeure pas moins expressive et illustre des tendances pressenties chez d'autres espèces forestières. Ces considérations sont à rapprocher des dosages biochimiques (polyphénols, peroxydases) obtenus sur le séquoia géant (Berthon 1985, Monteuis et Bon 1986), en fonction de références architecturales et en relation avec les manifestations organogènes constatées (caulogénèse, rhizogénèse). D'autre part, les résultats d'enracinement établis à partir des pieds-mères tendent à montrer que les différences entre les «boutures de tête» et les boutures de nœuds sous-jacents sont bien moins marquées que pour les formes naturelles fléchées et élancées précédemment étudiées.

FIGURE N° 16

*Représentation schématique et imagée des gradients d'enracinement
en fonction des niveaux de branchaison et de prélèvement*
*Schematic illustration of the rootability gradients related to the levels of
ramification and intrarameal situation*

 (cf. fig. n° 12)

 (cf. fig. n° 13)



La technique de confection des boutures de bois sec peut également avoir une incidence sur le pourcentage d'enracinement. Il semble en effet avantageux de conserver une certaine longueur d'entrenœud sous le dernier nœud de la zone basale (boutures de type A), conformément aux observations de Favre (1980). Le fait que les boutures doivent posséder un nombre suffisant de bourgeons pour permettre une bonne rhizogenèse peut s'interpréter en termes de bilan énergétique (photosynthèse) ou auxinique, les racines néoformées n'apparaissant qu'après l'épanouissement des premières tiges feuillées (voir Fald et Hartmann 1957, Roberts et Fuchigami 1973).

D'autre part, les résultats de la figure n° 10 confirment, à travers une moyenne globale d'enracinement inférieure au bouturage herbacé, que les comparaisons interclonales d'aptitude à la rhizogenèse peuvent varier au cours du temps, influencées par l'effet saisonnier. De ce point de vue, l'exemple du clone n° 97 est particulièrement éloquent.

Le suivi des plants enracinés repiqués au printemps révèle que l'ensemble de la production évolue de façon tout à fait satisfaisante, les pertes en cours de culture étant négligeables. Néanmoins, 2,5 mois après le repiquage, l'influence de l'origine des ramets sur leur croissance ultérieure est encore perceptible, comme l'indique la figure n° 17. Cette variabilité tend progressivement à se niveler durant l'élevage en serre, et à l'automne la quasi totalité des plants fléchés, mesurant 40 cm de hauteur moyenne, peut être plantée.

36 - SYNTHÈSE ET DISCUSSION

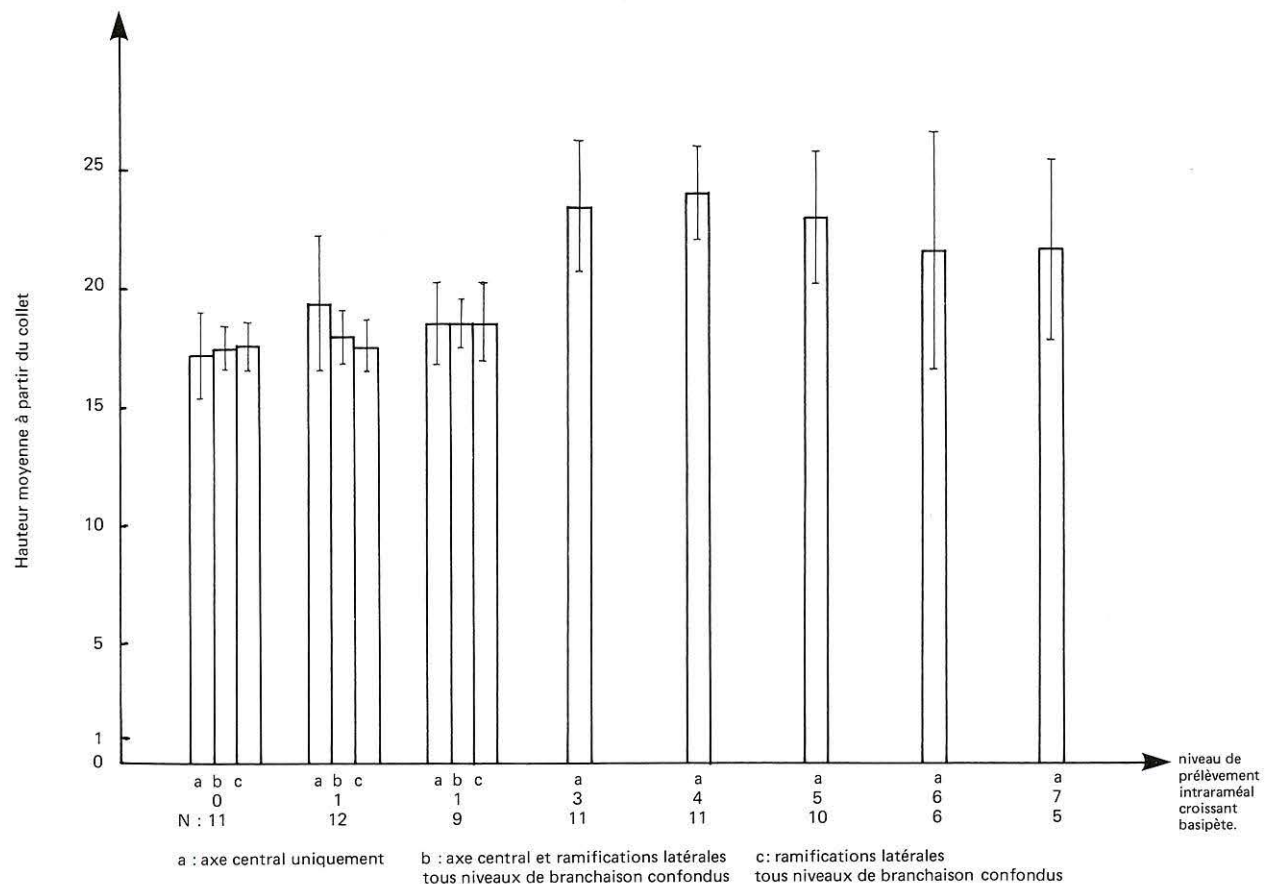
L'originalité de l'ensemble des résultats présentés concerne principalement l'influence, sur le bouturage, du choix des ramets au sein de l'ortet. Que ce soit à partir de critères morphologiques pour le bouturage herbacé, ou de références architecturales pour le bouturage ligneux, les distinctions initiales établies entre les boutures prélevées s'expriment à travers leur rhizogenèse ultérieure. Cette diversité des réponses au bouturage en fonction de l'origine des boutures sur le pied-mère peut expliquer la variabilité intraclonale dénoncée pour bien des espèces (Martin 1977). En pépinière, les raisons développées antérieurement (mortalité différée) justifient de bouturer préférentiellement les axes pérennants caractérisés de type O et F, voire de type 3.

Du point de vue rendement, cette option avantage les pieds-mères par rapport au bouturage en cascade (voir tableau n° 6) réalisé au mois de juin dans nos conditions. Or, le bouturage herbacé implique de conserver les plants durant un peu plus d'une année en serre, les boutures repiquées durant l'été n'ayant dans l'ensemble pas suffisamment poussé pour être plantées à l'automne. En revanche, leur développement peut paraître trop important au deuxième automne, bien que la plantation s'effectue en repos végétatif, lorsque les sujets sont dégarnis. Par contraste, le bouturage

FIGURE N° 17

*Influence du niveau de prélèvement des boutures
sur leur croissance après 2,5 mois d'élevage en serre*

*Influence of the intrarameal situation of the cuttings on their growth
after 2,5 months of greenhouse cultivation*



(Ces résultats se rapportent au matériel enraciné de la figure n° 13)

ligneux à partir de pieds-mères permet d'obtenir en une seule saison de végétation des productions de belle qualité, mieux adaptées aux reboisements par leur hauteur (40 cm environ). D'autre part, si les résultats d'enracinement sont globalement inférieurs à ceux du bouturage herbacé, les pertes après repiquage sont insignifiantes.

TABLEAU N° 6
*Rendements annuels en ramets pérennants
 (types O et F confondus) en fonction de la source de récolte*
*Perennial ramet annual yields according to their origins
 (types O and F mixed)*

	Bouturage herbacé	Bouturages herbacés et ligneux confondus
Rendement par bouture-mère de bouturage en cascade	2,14	2,14
Rendement par pied-mère en conteneur	8,03	21,9

Actuellement le bouturage à partir de pieds-mères destinés à cet effet offre donc plus d'avantages que le système de bouturage en cascade, principalement du fait d'un rendement annuel (2 récoltes) bien supérieur de ramets pérennants de qualité. Le suivi durant quelques années supplémentaires de l'aptitude au bouturage comparée du matériel issu des pieds-mères et du bouturage en cascade devrait permettre d'intégrer dans l'analyse l'effet vieillissement des souches (Copes 1983, Libby 1974). A ce sujet, les phénomènes de maturation et leurs conséquences fâcheuses pour le clonage semblent moins préoccupants pour le métaséquoia que pour d'autres espèces (Hood et Libby 1978). Plusieurs indices tels que :

- possibilité de cloner directement par bouturage des ortets in situ relativement âgés (10 à 20 ans, voire plus...),
- aptitudes élevées à l'enracinement adventif illustrées par les résultats obtenus en l'absence de substances rhizogènes exogènes,
- absence de plagiotropie,
- très bonne vigueur et réactivité à la taille et au recépage,

incitent actuellement à l'optimisme. L'exploitation de ces propriétés pour favoriser un conditionnement adéquat des pieds-mères, renouvelables en cas d'épuisement, devrait garantir l'avenir des possibilités de clonage du métaséquoia.



4. conclusion générale

Metasequoia glyptostroboïdes apparaît comme une espèce bien particulière, intéressante sous plusieurs aspects et qui gagne à être connue; son expansion artificielle actuelle en est le reflet. Sur le plan sylvicole, sa remarquable vigueur végétative ne pourra s'exprimer que dans des stations adaptées, suffisamment humides qui valorisent ses facultés de bon producteur de biomasse ligneuse. Comme le souligne Kuser (1983 a) l'amélioration génétique du métaséquoia demande à être développée à partir de croisements intraspécifiques, voire intergénétiques avec d'autres Taxodiacées, en tenant compte des remarques formulées antérieurement (paragraphe 22 et 26). Ses capacités organogènes pourraient être mises à profit dans le domaine des biotechnologies, ou plus traditionnellement du bouturage, pour exploiter la supériorité de telle ou telle combinaison génétique sélectionnée.

Par contraste avec bon nombre d'espèces forestières, le métaséquoia manifeste des prédispositions au clonage qui ouvrent de belles perspectives concernant l'utilisation de clones performants de cette essence séduisante dans les reboisements.



BIBLIOGRAPHIE

- ANDREWS H.N. (1948)
« Metasequoia and the living fossils »
Missouri Botanical Garden Bulletin, 36 (5), 79-85
- BARTHOLOMEW B., BOUFFORD D.E., SPONGBERG S.A. (1983)
« Metasequoia glyptostroboïdes - Its present status in central China »
Journal of the Arnold Arboretum, 64, 105-128
- BERTHON J.Y. (1985)
« Étude d'un marqueur biochimique de la rhizogenèse de Sequoiadendron giganteum (Lindl) Buchholz cultivé in vitro »
D.E.A. Université de Clermont II, 52 p.
- BÖCHER T.W. (1964)
« Morphology of the vegetative body of Metasequoia glyptostroboïdes »
Dansk Botanisk Arkiv, 24 (1), 1-70
- BONDUELLE P., BOULAY M., CAUVIN B., CHAPERON H., DELEPORTE P., DESTREMAU D.X., MARIEN J.N., MARQUESTAUT J., TOUZET G., VAUDELET J.C. (1982)
« Metasequoia glyptostroboïdes »
Culture de biomasse ligneuse, Afocel, 161-163
- BOULLARD B. (1982)
« La longue marche des botanistes... sur les traces des Metasequoia »
La Forêt privée, 143, 27-32

- CALLEN G. (1976)
« Les conifères cultivés en Europe (I) »
Ed. J.B. Baillière, Paris, 427 p.
- CHANEY R.W. (1969)
« The redwood of China »
Plants and gardens, 4, 235
- CHU K.L., COOPER W.S. (1950)
« An ecological reconnaissance in the native home of *Metasequoia glyptostroboides* »
Ecology, 31, 260-278
- CONNOR D.M. (1982)
« Cutting propagation of *Metasequoia glyptostroboides* »
The International Plant Propagator's Society, 32, 327-329
- COPES D.L. (1983)
« Effects of annual crown pruning and serial propagation on rooting of stem cuttings from Douglas-fir »
Can J. For. Res., 13, 419-424
- CREECH J.L. (1948)
« Propagation of *Metasequoia* by juvenile cuttings »
Science, 108, 664-665
- DESTREMAU D.X. (1981)
« Quelques espèces méconnues... : *Ginkgo biloba*, *Cunninghamia lanceolata*, *Metasequoia glyptostroboides* »
Informations-Forêt, n° 186 (4), 267-281
- DIETERICH H. (1955)
« Der Nutzwert des Holzes der *Metasequoia* »
Holz. Zbl., 81 (104), 1237
- EDELIN C. (1977)
« Images de l'architecture des conifères »
Thèse de troisième cycle, U.S.T.L. Montpellier, 255 p.
- FADL M.S., HARTMANN H.T. (1967)
« Relationship between seasonal changes in endogenous promoters and inhibitors in pear buds and cutting bases and the rooting of pear hardwood cuttings »
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 91, 96-112
- FAVRE J.M. (1980)
« Rhizogenèse et bouturage »
Dans : La multiplication végétative des plantes supérieures, *Ed. R. Chaussat, C. Bigot, Gauthier-Villars, pp. 51-75*
- FRANCLLET A. (1977)
« Manipulation des pieds-mères et amélioration de la qualité des boutures »
Afocel, Études et Recherches, n° 8, 20 p.
- GOUBIER P. (1987)
« La multiplication d'arbres forestiers en pépinière expérimentale; étude d'un cas concret : le bouturage herbacé du *Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng »
Rapport de stage B.T.S., 37 p. et annexes

- HARTMANN H.T., KESTER D.E. (1975)
 « Plant propagation - Principles and practices »
Prentice-hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 3ème éd. 662 p.
- HOOD J.V., LIBBY W.J. (1978)
 « Continuing effects of maturation state in radiata pine and a general maturation model »
 dans : Proc. Propagation of higher plants through tissue culture,
Ed K.W. Hughes, R. Henke, M. Constantin, Tech. Inf. Cen. U.S.D. Energy, 220-232
- HU S.Y. (1980)
 « The metasequoia flora and its phytogeographic significance »
Journal of the Arnold Arboretum, 61, 41-94
- JOHNSON L.C. (1974)
 « Metasequoia glyptostroboïdes Hu and Cheng »
 Dans : Seeds of woody plants in the United States, Forest service,
U.S. Department of Agriculture, Agric. Hdbk. No. 450, pp. 540-542
- JU C.C. (1984)
 « Metasequoia : l'arbre fossile national »
Unasylva, 36 (143) 28-29
- KAMMEYER H.F. (1962)
 « Über die Vermehrung der Metasequoia »
Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges. 62, 102-105
- KEMP E.E. (1948)
 « The propagation of Metasequoia by cuttings »
Journ. of the Hort. Soc. 73, 334-335
- KRUSSMANN G. (1966)
 « La pépinière (I) »
Ed . La Maison Rustique, Paris, 342 p.
- KUSER J. (1982)
 « Metasequoia keeps on growing »
Arnoldia, 42 (3), 130-138
- KUSER J. (1983 a)
 « Metasequoia glyptostroboïdes in urban forestry »
Proc. Metria 4, Jun. 20-21, 1983, New York, 20-27
- KUSER J. (1983 b)
 « Inbreeding depression in Metasequoia »
Journal of the Arnold Arboretum, 64, 475-481
- LENOIR R. (1956)
 « Informations diverses au sujet du Metasequoia glyptostroboïdes »
Bull. Soc. Roy. For. de Belgique, 63 (10), 434-437
- LIBBY W.J. (1974)
 « The use of vegetative propagules in forest genetics and tree improvement »
N.Z.J. For. Sci. 4 (2), 440-447
- MARTIN B. (1977)
 « Le bouturage des arbres forestiers; progrès récents - perspectives de développement »
Revue Forestière Française, 29 (4), 245-262

- MERRIL E.D. (1948)
 « Metasequoia, another living fossil »
Arnoldia, 8 (1), 1-8
- MONTEUUIS O., BON M.C. (1986)
 « Microbouturage du séquoia géant »
Annales Afocel 1985, 49-87
- POKORNY J. (1972)
 « Some notes to the biology of dawn redwood (*Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng) »
Sylvaecultura tropica et subtropica, 2, 149-154
- ROBERTS A.N., FUCHIGAMI L.H. (1973)
 « Seasonal changes in auxin effect on rooting of Douglas-fir stem cuttings as related to bud activity »
Physiol. Plant, 28, 215-221
- ROL R. (1949)
 « Un nouveau fossile vivant : le *Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng »
Revue Forestière Française, 1, 5-6
- SCHLARBAUM S.E., TSUCHIYA T. (1984)
 « Cytotaxonomy and phylogeny in certain species of Taxodiaceae »
Pl. Syst. Evol., 147, 29-54
- SCHLARBAUM S.E., TSUCHIYA T., JOHNSON L.C. (1984)
 « The chromosomes and relationships of *Metasequoia* and *Sequoia* (Taxodiaceae) : an update »
Journal of the Arnold Arboretum, 65, 251-254
- STERLING C. (1949)
 « Some features in the morphology of *Metasequoia* »
Amer. J. Bot., 36, 461-471
- WYMAN D. (1968)
 « *Metasequoia* after twenty years in cultivation »
Arnoldia, 28 (10-11), pp. 113-123



